

Ressortforschungsberichte zur kerntechnischen Sicherheit und zum Strahlenschutz

Anforderungen an Methoden und Umfang der über- und untertägigen Erkundung eines Standortes für ein Endlager unter Einbeziehung eines internationalen Vergleichs – Vorhaben 3605R02555

Auftragnehmer:

**Golder Associates GmbH in Kooperation mit GGL Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH und
IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH**

M. Goldsworthy

K. Seidel

T. Popp

Das Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) durchgeführt.

Dieser Band enthält einen Ergebnisbericht eines vom Bundesamt für Strahlenschutz im Rahmen der Ressortforschung des BMU (UFOPLAN) in Auftrag gegebenen Untersuchungsvorhabens. Verantwortlich für den Inhalt sind allein die Autoren. Das BfS übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie die Beachtung privater Rechte Dritter. Der Auftraggeber behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit seiner Zustimmung ganz oder teilweise vervielfältigt werden.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der des BfS übereinstimmen.

BfS-RESFOR-15/09

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokumentes immer auf folgende URN:
urn:nbn:de:0221-2009042391

Salzgitter, August 2009

VORHABEN: SR 2555

**Anforderungen an Methoden und Umfang der
über- und untertägigen Erkundung eines
Standortes für ein Endlager unter
Einbeziehung eines internationalen Vergleichs**

- Abschlussbericht -

Auftragnehmer: Golder Associates GmbH

in Kooperation mit:
GGL Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH
IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH

Celle, 20.02.2009 Eur Ing M. Goldsworthy
Projektleiter

Projektbearbeitung:	Eur Ing Martin Goldsworthy	Golder Associates GmbH
	Dipl.-Geophys. Knut Seidel	Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH
	Dr. Till Popp	Institut für Gebirgsmechanik GmbH

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers (Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) übereinstimmen.

INHALTSVERZEICHNIS

KURZFASSUNG

SUMMARY

1	EINLEITUNG	1
1.1	VERANLASSUNG	1
1.2	ZIELE DER BEARBEITUNG	1
1.3	AUFBAU DES ABSCHLUSSBERICHTES	2
2	INTERNATIONALE RECHERCHE.....	2
2.1	VORGANG	2
2.2	REAKTIONEN DER ANSPRECHPARTNER.....	3
2.3	ERGEBNISSE	4
3	DARSTELLUNG UND BEWERTUNG INTERNATIONALER ERKUNDUNGS-PROGRAMME	4
3.1	RECHERCHIERTER STANDORTE.....	4
3.1.1	<i>Standortauswahl</i>	4
3.1.2	<i>Standortbeschreibung</i>	6
3.1.3	<i>Darstellungen der Erkundungen</i>	6
3.1.3.1	Textdateien	8
3.1.3.2	Standortübersichten	8
3.2	BEWERTUNGEN	8
3.2.1	<i>Basis der numerischen Bewertung</i>	8
3.2.2	<i>Gesteinsbezogene Bewertung</i>	14
3.2.2.1	Einführende Anmerkungen	14
3.2.2.2	Salzgesteine.....	15
3.2.2.3	Tone/Tonsteine	18
3.2.2.4	Kristallin.....	22
3.2.2.5	Sonstige Gesteine.....	26
4	ABLEITUNG VON ERKUNDUNGSMABNAHMEN FÜR DEUTSCHLAND	28
4.1	EINLEITUNG	28
4.2	STANDORTSZENARIEN.....	29
4.2.1	<i>Allgemeine Einschränkungen</i>	29
4.2.2	<i>Salzgesteine</i>	29
4.2.2.1	Definition	29
4.2.2.2	Standortszenarios	30
4.2.3	<i>Tone und Tonsteine</i>	31
4.2.3.1	Definition	31
4.2.3.2	Standortszenario	32
4.2.4	<i>Kristallin</i>	32

4.2.4.1	Definition	32
4.2.4.2	Standortszenarien	33
4.2.5	<i>Sonstige Gesteine unter Tonbedeckung</i>	33
4.2.5.1	Definition	33
4.2.5.2	Standortszenarien	34
4.3	ÜBERTRAGBARKEIT DER INTERNATIONALEN ERFAHRUNGEN	34
4.3.1	<i>Informationseinschränkungen</i>	34
4.3.1.1	Formationsbezogene Informationseinschränkungen	34
4.3.1.2	Verfahrensbezogene Informationseinschränkungen	35
4.3.2	<i>Darstellungs- und Bewertungsmethodik</i>	35
4.4	ABLEITUNGSVORGANG	36
4.5	ABGELEITETE ERKUNDUNGEN	42
4.5.1	<i>Salzgesteine</i>	42
4.5.2	<i>Tone und Tonsteine</i>	45
4.5.3	<i>Kristallin</i>	47
4.5.4	<i>Sonstige Gesteine unter Tonbedeckung</i>	50
5	VERGLEICH INTERNATIONALER ERKUNDUNGSANFORDERUNGEN MIT ERFAHRUNGEN AUS DEUTSCHLAND	52
5.1	VORGANG	52
5.1.1	<i>Nationale Anforderungen</i>	52
5.1.2	<i>Auswahl der nationalen Standorte</i>	52
5.1.3	<i>Dateneinsichtnahme</i>	52
5.1.4	<i>Darstellung und Bewertung</i>	53
5.2	STANDORTINFORMATIONEN UND -BEWERTUNGEN	53
5.2.1	<i>Erkundungsbergwerk Gorleben</i>	53
5.2.1.1	Informationen	53
5.2.1.2	Bewertung	54
5.2.2	<i>Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM)</i>	58
5.2.2.1	Informationen	58
5.2.2.2	Bewertung	58
5.2.3	<i>Endlager Konrad</i>	60
5.2.3.1	Informationen	60
5.2.3.2	Bewertung	61
6	SCHLUSSFOLGERUNGEN	65
6.1	INTERNATIONALE RECHERCHE	65
6.1.1	<i>Standortverfügbarkeit</i>	65
6.1.2	<i>Gesteinsübergreifende Aspekte</i>	66
6.1.3	<i>Gesteinsspezifische Aspekte</i>	67
6.1.4	<i>Standortspezifische Aspekte</i>	67
6.2	ABLEITUNG ERKUNDUNGSMETHODEN FÜR STANDORTE IN DEUTSCHLAND	67

6.2.1	<i>Basis der Ableitungen</i>	67
6.2.2	<i>Merkmale einiger abgeleiteten Erkundungen</i>	68
6.2.3	<i>Gesteinsübergreifende Ähnlichkeit</i>	69
6.2.4	<i>Praktische Einschränkung</i>	69
6.3	VERGLEICH MIT DEN DEUTSCHEN ERFAHRUNGEN.....	69
6.3.1	<i>Bedeutung der Randbedingungen und Zielstellungen für die Erkundung</i>	69
6.3.2	<i>Erreichte Bearbeitungsstände der Erkundung</i>	70
6.4	RELEVANZ DER INTERNATIONALEN ERFAHRUNGEN FÜR DIE ZUKÜNFTIGE PRAXIS IN DEUTSCHLAND	71
7	ZITATE	72
	Gesamtblattanzahl	743

TABELLEN

Tabelle 3.2.2-1	Zusammenfassung der berechneten Zuverlässigkeitsindizes für die bewerteten Standorte	13
Tabelle 4.4-1	Ableitungen der Orientierungswerte.....	39

ABBILDUNGEN

Abb. 3.2.1-1	Berechnete Zuverlässigkeitsindizes für Kombinationen von Erkun- dungsmaßnahmen mit verschiedenen Qualitäts- bzw. Quantitäts- kategorien	11
Abb. 3.2.2.2-1	Zuverlässigkeitsindizes: Salzgesteine (nur übertägig) - Scanzano Jonico	16
Abb. 3.2.2.2-2	Zuverlässigkeitsindizes: Salzgesteine in flacher Lagerung (übertägig und untertägig) - WIPP/USA	17
Abb. 3.2.2.3-1	Zuverlässigkeitsindizes: Tone/Tonsteine (nur übertägig) - Benken/ Schweiz, Wellenberg/Schweiz	20
Abb. 3.2.2.3-2	Zuverlässigkeitsindizes: Tone/Tonsteine (übertägig und untertägig) - Mol/Belgien, Bure/Frankreich	21
Abb. 3.2.2.4-1	Zuverlässigkeitsindizes: Kristallin (nur übertägig) - Bataapati/Ungarn, Onkalo/Finnland, Sellafield/England	23
Abb. 3.2.2.4-2	Zuverlässigkeitsindizes: Kristallin (nur übertägig) - Forsmark/Schwe- den, Oskarshamn/Schweden	24

Abb. 3.2.2.4-3	Zuverlässigkeitsindizes: Kristallin (übertägig und untertägig) - White-shell/Kanada	25
Abb. 3.2.2.5-1	Zuverlässigkeitsindizes: sonstige Gesteine (übertägig und unter-tägig) - Yucca Mountain/USA	27
Abb. 4.4-1	Vorhandene Orientierungswerte Schritt 4	40
Abb. 4.4-2	Vorhandene Orientierungswerte Schritte 4 + 5	41
Abb. 4.5.1-1	Zuverlässigkeitsindizes der verschiedenen Themenkomplexe für Salzgesteine in flacher bzw. steiler Lagerung (jeweils für Schritt 4 bzw. 4 + 5) sowie als Orientierungswerte für die Schritte 4 + 5 von der Bewertung der Erkundungsmaßnahmen der WIPP/USA.....	43
Abb. 4.5.2-1	Zuverlässigkeitsindizes der verschiedenen Themenkomplexe für Tone und Tonsteine (jeweils für Schritt 4 bzw. 4 + 5) sowie die entsprechenden Orientierungswerte auf Basis verschiedener Standorte ..	46
Abb. 4.5.3-1	Zuverlässigkeitsindizes der verschiedenen Themenkomplexe für Kristallinge-steine unter geringer Bedeckung (jeweils für Schritt 4 bzw. 4 + 5) sowie die entsprechenden Orientierungswerte auf Basis verschiedener Standorte	48
Abb. 4.5.3-2	Zuverlässigkeitsindizes der verschiedenen Themenkomplexe für Kristallinge-steine unter mächtiger Bedeckung (jeweils für Schritt 4 bzw. 4 + 5) sowie die entsprechenden Orientierungswerte auf Basis verschiedener Standorte	49
Abb. 4.5.4-1	Zuverlässigkeitsindizes der verschiedenen Themenkomplexe für sonstige Gesteine unter Tonbedeckung (jeweils für Schritt 4 bzw. 4 + 5)	51
Abb. 5.2.1.2-1	Zuverlässigkeitsindizes der verschiedenen Themenkomplexe für Gorleben im Vergleich zu den Kennwerten der abgeleiteten Erkundungsmaßnahmen für Salzgesteine in steiler Lagerung (Schritt 4)..	55
Abb. 5.2.1.2-2	Zuverlässigkeitsindizes der verschiedenen Themenkomplexe für Gorleben und Morsleben im Vergleich zu den Kennwerten der abgeleiteten Erkundungsmaßnahmen für Salzgesteine in steiler Lagerung (Schritte 4 + 5) sowie den Orientierungswerten aus der Bewertung der durchgeführten Erkundungsmaßnahmen für WIPP/USA...	56
Abb. 5.2.1.2-3	Belegung von Themenkomplexen mittels durchgeführter über- und untertägiger Erkundungsmethoden am Standort Gorleben im Vergleich zu den abgeleiteten Erkundungsmaßnahmen für Salzgesteine in steiler Lagerung	57

Abb. 5.2.2.2-1	Belegung von Themenkomplexen mittels durchgeführter über- und untertägiger Erkundungsmethoden am Standort Morsleben im Vergleich zu den abgeleiteten Erkundungsmaßnahmen für Salzgesteine in steiler Lagerung	59
Abb. 5.2.3.2-1	Zuverlässigkeitsindizes der verschiedenen Themenkomplexe für das Endlager Konrad im Vergleich zu den Kennwerten der abgeleiteten Erkundungsmaßnahmen für sonstige Gesteine unter Tonbedeckung (Schritte 4 + 5).....	63
Abb. 5.2.3.2-2	Belegung von Themenkomplexen mittels durchgeführter über- und untertägiger Erkundungsmethoden am Standort Konrad im Vergleich zu den abgeleiteten Erkundungsmaßnahmen für sonstige Gesteine unter Tonbedeckung	64

ANHÄNGE

Anhang 1:	Standorttabellen
Anhang 2:	Beschreibungen der nicht in die weitere Bearbeitung einbezogenen Standorte
Anhang 3:	Sammelbegriffe - Erkundungsmethoden
Anhang 4:	Grundlagen der Einstufung von Erkundungsmaßnahmen in Qualitäts- bzw. Quantitätskategorien
Anhang 5:	Dokumentation - internationale Standorte in Salzgesteinen
Anhang 6:	Dokumentation - internationale Standorte in Tonen/Tonsteinen
Anhang 7:	Dokumentation - internationale Standorte im Kristallin
Anhang 8:	Dokumentation - internationale Standorte in sonstigen Gesteinen
Anhang 9:	Dokumentation der abgeleiteten Erkundung - Salzgesteine in flacher Lagerung
Anhang 10:	Dokumentation der abgeleiteten Erkundung - Salzgesteine in steiler Lagerung
Anhang 11:	Dokumentation der abgeleiteten Erkundung - Tone und Tonsteine
Anhang 12:	Dokumentation der abgeleiteten Erkundung - Kristallin mit geringer Bedeckung
Anhang 13:	Dokumentation der abgeleiteten Erkundung - Kristallin mit mächtiger Bedeckung
Anhang 14:	Dokumentation der abgeleiteten Erkundung - sonstige Gesteine unter Tonbedeckung
Anhang 15:	Dokumentation - Erkundungsbergwerk Gorleben
Anhang 16:	Dokumentation - Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM)
Anhang 17:	Dokumentation - Endlager Konrad
Anhang 18:	Inhalte der Themenkomplexe

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AECL	Atomic Energy of Canada Limited
AkEnd	Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte
ALZ	Auflockerungszone
ANDRA	Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs
BE / HAA	Brennelemente / hochaktive verglaste Abfälle
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
CAD	Computer aided design
CBFO	Carlsbad Field Office
CSAMT	controlled source audio-frequency magnetotellurics
DDR	Deutsche Demokratische Republik
DOE	Department of Energy
EM	electromagnetic
ENRESA	Empresa Nacional de Residuos Radioactivos SA
ERAM	Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben
EU	Europäische Union
FEM	Finite-Elemente-Methode
FLG	Felslabor Grimsel
GGL	Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH
GRS	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit
GSF	Gesellschaft für Strahlenforschung
HAW	High activity waste
HLW	High level waste
IfG	Institut für Gebirgsmechanik Leipzig GmbH
IAEA	Japanese Atomic Energy Authority
IRSN	L'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire
IAEA	Japanese Atomic Energy Authority
JNC	Japan Nuclear Cycle Development Institute
KW	Kohlenwasserstoffe
LAW	Low activity waste
L/ILW	Low and intermediate level waste
MAFI	Magyar Allami Földtani Intezet
MAW	Medium activity waste
NAGRA	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle

NIRAS	Nationale instelling voor radioactief afval en verrijkte splijtstoffen
NIREX	(ursprünglich) Nuclear Industry Radioactive Waste Executive
NMR	nuclear magnetic resonance
NRG	Nuclear Research & Consultancy Group
ONDRAF	Organisme national des déchets radioactifs et des matières fissiles enrichés
OPG	Ontario Power Generation
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt
PURAM	Public Agency for Radioactive Waste Management
RAWRA	Radioactive Waste Repository Authority
Ra-	Refraktions-(seismik)
REM	Rasterelektronmikroskop
Rx-	Reflexions-(seismik)
SCK / CEN	Studiencentrum voor Kernenergie / Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire
SKB	Svensk Kärnbränslehantering
SOGIN	Società Gestione Impianti Nucleari
TDEM	time domain electromagnetic
TDS	total dissolved solids
THMC	thermo-hydro-mechanical-chemical
URL	Underground rock laboratory
VEB	Volkseigener Betrieb
VLF	very low frequency
VSP	vertical seismic profiling
WIPP	Waste Isolation Pilot Plant
XRF	x-ray diffraction analysis

Kurzfassung

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) beauftragte die Golder Associates GmbH mit der Bearbeitung des Forschungsvorhabens SR 2555 zum Thema „Anforderungen an Methoden und Umfang der über- und untertägigen Erkundung eines Standortes für ein Endlager unter Einbeziehung eines internationalen Vergleichs“. Die Bearbeitung erfolgte in Zusammenarbeit mit der Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH (GGL) und Institut für Gebirgsmechanik GmbH (IfG) in vier Arbeitsschritten:

- Recherche internationaler Erkundungsmethoden und deren Zielsetzung
- Darstellung und Bewertung internationaler Erkundungsprogramme
- Ableitung von Erkundungsmaßnahmen für Deutschland
- Vergleich internationaler Erkundungsanforderungen mit Erfahrungen aus Deutschland

Der AkEnd [AKEND (2002)] hat ein Verfahren zur schrittweisen Auswahl von Standorten zur Endlagerung radioaktiver Abfälle in Formationen mit günstigen geologischen Voraussetzungen empfohlen. Danach ist im vierten und fünften Verfahrensschritt die übertägige bzw. untertägige Erkundung eines Standortes auf seine Eignung als mögliches Endlager für radioaktive Abfälle vorgesehen. Die Anwendung des aktuellen internationalen Standes von Wissenschaft und Technik ist eine Voraussetzung für die Methodenauswahl und den Umfang einer solchen Erkundung in Deutschland. Ziel der durchgeführten Arbeiten war es, Informationen über die geowissenschaftlichen Methoden zur Erkundung eines Standortes für ein Endlager für radioaktive Abfälle, den Umfang einer entsprechenden Standorterkundung sowie die hierzu ggf. noch erforderliche Methodenentwicklung international zu erfassen. Auf Grundlage dieser internationalen Erfahrungen wurde abgeleitet, welche Erkundungsmethoden im Falle des vierten und fünften Verfahrensschrittes für einen Endlagerstandort in Deutschland anzuwenden wären. In Deutschland sind folgende geologische Formationen für ein Endlager für radioaktive Abfälle zu betrachten: Salzgesteine, Tone und Tonsteine, Kristallin sowie sonstige Gesteine unter Tonbedeckung. Für die bisher in Deutschland untersuchten Standorte Morsleben und Gorleben (Salzgestein - steile Lagerung) sowie Konrad (sonstige Gesteine unter Tonbedeckung) erfolgte ein Vergleich der für die entsprechenden Formationen aus den internationalen Erfahrungen abgeleiteten Erkundungsmethoden mit den Erfahrungen in Deutschland.

Bei den vorliegenden Untersuchungen wurden die Methoden und die Zielsetzung der international durchgeführten Erkundungen für bereits errichtete bzw. in Errichtung befindliche Endlager für radioaktive Abfälle im tiefen geologischen Untergrund sowie entsprechende Forschungsmaßnahmen in untertägigen Felslaboratorien (URL's) recherchiert. Der erreichte Informationsstand für die einzelnen Formationen war unterschiedlich. Dies resultiert u.a. aus der

Anzahl der Standorte in den jeweiligen Formationen und insbesondere aus den unterschiedlichen Zielsetzungen der Erkundungen: diese können generisch in einem untertägigen Felslabor (URL) erfolgt sein oder wurden zielgerichtet für einen bereits in die Auswahl aufgenommenen Standort im Hinblick auf seine spätere Nutzung durchgeführt.

Im Verlauf der Bearbeitung des Forschungsvorhabens SR 2555 war erkennbar, dass nicht alle zuerst betrachteten Endlagerprogramme zum Erreichen der Ziele des Forschungsvorhabens beitragen können. In einigen Fällen erfolgten bislang keine standortbezogenen Erkundungsaktivitäten. In anderen Programmen sind die durchgeführten Aktivitäten nicht als ein geeignetes bzw. zuverlässiges Modell für eine Erkundung im Rahmen des Schrittes 4 bzw. 5 des vom AkEnd vorgeschlagenen Auswahlverfahrens für Endlagerstandorte einzustufen.

Für die Darstellung der betrachteten Erkundungen - Zusammenfassung durchgeführter Erkundungsmaßnahmen - wurden die bei den Bearbeitern des Forschungsvorhabens z.T. bereits vorliegenden sowie im Internet oder in der Literatur frei verfügbaren Informationen und die von den kontaktierten Betreibern der verschiedenen Standorte zur Verfügung gestellten Informationen ausgewertet. Gleichzeitig ist davon auszugehen, dass den Bearbeitern nicht alle Informationen über durchgeführte Erkundungsmaßnahmen vorlagen. Bei der Bearbeitung der Fragestellungen wurden Interpretationsmöglichkeiten, die nicht unmittelbar in Zusammenhang mit einer spezifischen Erkundungsmethode stehen, nicht berücksichtigt. Aus den gesammelten Informationen wurden für die einzelnen Erkundungsstandorte die jeweils durchgeführten Maßnahmen inhaltlich definierten Themenkomplexen - Regionale Geologie (A), Eigenschaften des Wirtsgesteins und der Rahmengesteine am Standort (B), Hydrogeologie des Wirtsgesteins und der Rahmengesteine (C) oder Hydrochemie (D) - zugeordnet. Diese Themenkomplexe dienen der Zusammenfassung der Informationen, die für die Erarbeitung der in den Schritten 4 und 5 des vom AkEnd vorgeschlagenen Standortauswahlverfahrens durchzuführenden Langzeitsicherheitsanalysen erforderlich sind. Die im Rahmen der Themenkomplexe zusammengestellten Informationen dienen auch dem Nachweis der bautechnischen Machbarkeit der Hohlraumerstellung unter den standortspezifischen Gegebenheiten sowie eines ausreichenden geowissenschaftlichen Verständnisses des Standortes. Eine weitere Zuordnung der Informationen zu Erkundungen erfolgte bezüglich der Erkundungsmethoden (z.B. Bohrungen, In-situ-Messungen).

Vor dem Hintergrund, dass es in Deutschland und auch international keine formellen Standards für die durchzuführenden Erkundungsmaßnahmen für ein Endlager mit radioaktiven Abfällen gibt, wurde angenommen, dass die internationalen Erkundungsprogramme für Endlager eine hinreichende Basis für Aussagen zur erforderlichen Methodenauswahl und zum erforderlichen Erkundungsumfang für Standorte in Deutschland darstellen. Zur Vereinheitli-

chung der Bewertung der verschiedenen Endlagerprogramme bzw. zur Ermöglichung der begründeten Übertragung auf deutsche Verhältnisse wurde ein Zuverlässigkeitsindex eingeführt. Die verwendete Vorgehensweise zur Berechnung des Zuverlässigkeitsindex für die einzelnen Inhalte der Themenkomplexe erfordert die Zuordnung zu Qualitäts- und Quantitätskategorien jeder durchgeführten Erkundungsmaßnahme. Als Grundlage für diese Vorgehensweise wurden die Erkundungsmaßnahmen in diese Kategorien eingeteilt.

Der zusammenfassenden Bewertung der zum jeweiligen Themenkomplexe tatsächlich durchgeführten, teilweise sowohl bzgl. der Qualität als auch der Quantität unterschiedlichen Erkundungsmaßnahmen, liegen die folgenden Überlegungen zugrunde:

- Die Zuverlässigkeit einer Aussage ist eine Funktion sowohl der Qualität als auch der Quantität der der Aussage zugrunde liegenden Erkundungsmaßnahmen bzw. der daraus abgeleiteten Ergebnisse.
- Im Allgemeinen ist die Qualität wesentlicher als die Quantität (d.h. viele Informationen, die eine falsche Schätzung eines Parameterwertes liefern, werden als weniger wertvoll angesehen, als wenige Informationen, die gute Schätzwerte ermöglichen).
- Nach jedem Erkundungsschritt verbleibt eine Restunsicherheit bzgl. der Gebirgsbedingungen und -eigenschaften. Bei der Erkundung eines bestimmten Themenkomplexes steigt mit der Anzahl der hierzu angewandten Maßnahmen der Erkenntniszuwachs, der erreichbare Zuverlässigkeitsgewinn erhöht sich jedoch unterproportional.

Für die jeweiligen Themenkomplexe wurde auf Basis der den durchgeführten Erkundungsmaßnahmen zugeordneten numerischen Kategorien zu Qualität bzw. Quantität ein Zuverlässigkeitsindex berechnet. Die berechneten Zuverlässigkeitsindizes für die einzelnen bewerteten Standorte wurden tabellarisch sowie grafisch dargestellt und in Zusammenhang mit den anderen Erkundungsdokumentationen bewertet.

Bei der Definition der im Schritt 4 bzw. 5 des vom AkEnd vorgeschlagenen Endlagerauswahlverfahrens zu erkundenden potenziellen Standortregionen bzw. Standorte für radioaktive Abfälle wird gefordert, dass die im Verfahren definierten Ausschlusskriterien nicht zutreffen bzw. die Mindestanforderungen erfüllt sind. Auf Basis des Expertenwissens der Bearbeiter des Forschungsvorhabens sowie der bewerteten internationalen Informationen wurden generische Erkundungen (die anzuwendenden Maßnahmen sowie deren jeweiliger Umfang) für die zu betrachtenden vier geologischen Formationen bzw. sechs Standortszenarien (Salzgesteine in flacher Lagerung, Salzgesteine in steiler Lagerung, Tone und Tonsteine, Kristallingesteine

unter geringer Bedeckung, Kristallingesteine unter mächtiger Bedeckung, sonstige Gesteine unter Tonbedeckung) abgeleitet. Die Darstellungsformen und die Art der Bewertung der abgeleiteten Erkundungen erfolgte wie für die betrachteten internationalen Erkundungen.

Für den geforderten standortspezifischen Vergleich der durchgeführten Erkundungen in Deutschland mit den aus internationaler Erfahrung abgeleiteten Erkundungsmaßnahmen wurde die vorhandene Darstellungs- und Bewertungsmethodik für die Standorte Gorleben, Morsleben sowie Konrad verwendet.

Schlussfolgerungen:

Nur ein Teil der ursprünglich im Rahmen der Untersuchungen weltweit identifizierten Endlagerprogramme bzw. -standorte für radioaktive Abfälle waren für die weitere Bearbeitung im Rahmen des Forschungsvorhabens SR 2555 geeignet. Bezieht man sich auf die vier vorgegebenen, jeweils verschiedenen Wirtsgesteinsgruppen - Salzgesteine, Tone/Tonsteine, Kristallin sowie sonstige Gesteine unter Tonbedeckung - ist die Anzahl relevanter Erkundungsstandorte gering. Bezüglich der URL-Standorte sind nach Einschätzung der Bearbeiter des Forschungsvorhabens nur die von Relevanz, bei denen es darum geht, standortspezifische Daten für die Errichtung eines Endlagers zu gewinnen. Hinsichtlich der für die weitere Bearbeitung übrig bleibenden geeigneten 13 Erkundungsstandorte ist anzumerken, dass in den meisten Fällen die entsprechenden Erkundungsarbeiten aktuell noch laufen.

Trotz der zu erwartenden Unterschiede der Endlagerprogramme sowie der Subjektivität von einigen erforderlichen Bewertungen im Rahmen der Zuordnungen zu den verwendeten Qualitäts- bzw. Quantitätskategorien deuten die Ergebnisse auf einen hohen Konsistenzgrad zwischen den Standorterkundungen hin. Es besteht trotz der realen unterschiedlichen gesteinspezifischen Anforderungen eine starke Ähnlichkeit in den gewählten Vorgehensweisen für die Erkundung. Deutlich wird eine allgemein übliche Anwendung einer Kombination von Geophysik (überflächig sowie im Bohrloch) und überflächigen Bohrungen. Für einige Themenkomplexe sind die Bohrungen zur Beprobung bzw. Durchführung von In-situ-Versuchen in jedem Fall unerlässlich. Im unterflächigen Anteil der Erkundungen werden diese Aspekte zusammen mit der Vertiefung der Kenntnisse der petrophysikalischen Eigenschaften weiter verfolgt. Zusammenfassend zeigte sich bei der Auswertung des internationalen und nationalen Datenmaterials, dass für eine ausreichende Datenbasis zur Bewertung eines Endlagerstandortes eine unterflächige Erkundung unverzichtbar ist.

Bei der Bewertung der verschiedenen Standorte ergab sich, dass an Standorten, die einem expliziten Auswahlverfahren äquivalent zum Schritt 4 bzw. 5 des AkEnd-Vorschlages unterlie-

gen, Umfang und Ausmaß der durchgeführten Erkundungsmaßnahmen signifikant höher sind als an Standorten, für die ein solches Auswahlverfahren nicht vorgesehen war.

Im Ergebnis der durchgeführten Arbeiten wird eingeschätzt, dass - obwohl nur wenige internationale Standorte als Referenz vorliegen und somit keine sichere statistische Basis zur Bewertung von Erkundungsmethoden und -umfängen gegeben ist - die vorliegenden Informationen unter Einbeziehung des Expertenwissens der Bearbeiter des Forschungsvorhabens trotzdem ausreichen, um eine Ableitung von Erkundungsmaßnahmen zu ermöglichen.

Bei der Auswahl der Erkundungsmaßnahmen wurden nur allgemein anwendbare Methoden und Umfänge berücksichtigt, da spezifische Erkundungsmaßnahmen für konkrete Standorte erst nach der Auswertung der vorhandenen Informationen konzipiert werden können.

Der Vergleich der im Zusammenhang mit der Endlagerung radioaktiver Abfälle vorgenommenen Erkundungen an den drei deutschen Standorten (Gorleben, Morsleben, Konrad) mit den auf Grundlage der internationalen Erfahrungen abgeleiteten Erkundungsmaßnahmen dokumentiert die Bedeutung der spezifischen Rahmenbedingungen bzw. der Zielstellungen der Arbeiten zur Zeit der jeweiligen Erkundungsaktivität. Am Standort Gorleben fanden zwar umfangreiche Erkundungsmaßnahmen statt, die aber nicht Basis für ein vergleichendes Auswahlverfahren waren. Die beiden Standorte Konrad und Morsleben wurden bereits bergmännisch genutzt und aufgrund der als günstig eingeschätzten Bedingungen für die Nutzung als Endlager im Betracht gezogen. Die Ableitung erfolgte für Standorte im unverritzten Gebirge unter der Annahme, dass mehrere Vergleichsstandorte betrachtet werden. Insofern entsprechen die vorgenommenen Erkundungen nicht den Zielstellungen, die für die Ableitung von Erkundungsmaßnahmen auf der Basis der internationalen Erfahrungen angenommen wurden. Hieraus erklärt sich ein wesentlicher Teil der Unterschiede der deutschen Erkundungsprogramme zu den abgeleiteten Erkundungsmaßnahmen.

Für die Standorte Gorleben und Morsleben deuten die im vorliegenden Bericht durchgeführten Vergleiche auf einen insgesamt sehr guten Bearbeitungsstand hin. Morsleben weist in diesem Zusammenhang einen generell besseren Bearbeitungsstand als Gorleben auf, wobei die Arbeiten in Gorleben aufgrund des Moratoriums noch nicht abgeschlossen sind. Der gegenüber den abgeleiteten Erkundungsmaßnahmen schlechtere Erkundungsstand des Endlagers Konrad spiegelt die den Bearbeitern des Forschungsvorhabens vorliegenden Daten zu den Erkundungsmaßnahmen von 1982 bis 1990 wieder. Damals lagen schon umfangreiche Informationen aus den regional erfolgten Explorationsmaßnahmen zur KW- und Erzgewinnung sowie aus der langjährigen Nutzung als Eisenerzbergwerk vor, einschließlich der Voruntersuchungen zur Eignung des Standortes durch die GSF.

Aus der Bearbeitung der Fragestellung bzw. aus den erzielten Ergebnissen ergeben sich einige Hinweise in Zusammenhang mit der zukünftigen Erkundung von potenziellen Endlagerstandorten in Deutschland:

- Die festgestellten Ähnlichkeiten zwischen den aktuellen internationalen Erkundungen demonstrieren, dass die daraus abgeleiteten Maßnahmen zumindest eine hinreichende Basis für die Definition von Inhalt und Umfang durchzuführender Erkundungen darstellen und damit für einen internationalen Stand von Wissenschaft und Technik.
- Die Erkundung im Rahmen eines stufenweise standortvergleichenden Auswahlverfahrens nach den Vorschlägen des AkEnd führt zu einem höheren Erkundungsaufwand, aber die auf diese Weise erhaltenen umfassenderen Informationen ermöglichen sichere Entscheidungen bei der letztlich durchzuführenden Standortauswahl mit dem Ziel der Errichtung eines Endlagers für radioaktive Abfälle.
- Bei der Auswertung des internationalen und nationalen Datenmaterials zeigt sich, dass für eine ausreichende Datenbasis zur Bewertung eines Endlagerstandortes eine untertägige Erkundung unverzichtbar ist.
- Der nur eingeschränkt mögliche Vergleich der internationalen Erkundungsanforderungen mit den entsprechenden deutschen Erfahrungen deutet nicht auf das Erfordernis von Änderungen der deutschen Vorgehensweisen bzgl. der Methoden bzw. des Umfangs für die Erkundung eines Standortes für die Endlagerung radioaktiver Abfälle hin.
- Internationale Kooperationen sowie die nachvollziehbare Veröffentlichung von ausführlichen Erkundungsinformationen fördern den wissenschaftlichen Erfahrungsaustausch und können zu einer Verbesserung der Vorgehensweisen führen.

Summary

The German federal agency for radiation protection (Bundesamt für Strahlenschutz - BfS) commissioned Golder Associates GmbH to carry out research project SR 2555 on “requirements for methods and the scope of above ground and underground investigations of a site intended as repository, including an international comparison”. The work was carried out in four stages in cooperation with Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH (GGL) and Institut für Gebirgsmechanik GmbH (IfG):

- Research on international investigation methods and their objective
- Description and evaluation of international investigation programmes
- Derivation of investigation measures for Germany
- Comparison of international investigation requirements with experiences in Germany

AkEnd [AKEND (2002)] recommended a procedure for a step-by-step selection of sites for a repository for radioactive wastes in formations with favourable or promising geological conditions. In the fourth and fifth steps of this selection procedure it is intended to test the suitability of a site as a repository for radioactive wastes by above ground and then by underground investigations. In Germany the investigation methods that are used and their scope have to be consistent with the current state of the art of science and technology. The aim of the research project was to compile information on an international basis on geoscientific methods for the investigation of a site for a repository for radioactive waste, the scope of such investigations and also on the possibly still necessary development of methods. From the international experience were derived the investigations which would have to be used in the fourth and fifth steps of the selection process for a repository for radioactive waste in Germany. In Germany, the following geological formations have to be considered for repositories for radioactive wastes: evaporite, clay/claystone, crystalline rock and other rock below clays. A comparison was made for the investigated German sites Morsleben, Gorleben (evaporite - diapirs) and Konrad (other rock below clays) which contrasted the investigation methods derived from international experience for equivalent formations with the experience in Germany.

Within this project the methods and objectives of international investigations for existing repositories for radioactive wastes, or those under construction, in deep geological substrata have been researched, as well as equivalent research activities in underground rock laboratories (URLs). The information level attained for the individual formations varied. Inter alia, this is due to the number of sites within the individual formations and especially due to the diverse objectives of the investigations: these may have been generic in an underground rock laboratory (URL) or specific to the subsequent usage of an already selected site.

During the work on research project SR 2555 it was recognized that not all of the initially examined repository programmes could contribute to achieving the project's goals. In some cases no site-related investigation activities have been conducted yet. In other programmes the performed activities cannot be considered as appropriate or reliable models for investigations in step 4 and 5 of the site selection procedure for repositories suggested by AkEnd.

The descriptions of the examined investigations - summaries of the conducted investigation activities - contain the evaluation of information that was already available to the research project team members or that was freely accessible on the internet or from literature, as well as information made available by operators of various sites. At the same time, it has to be assumed that not all information on the conducted investigations was available to the project team. During the work, interpretation possibilities that are not immediately linked to a specific investigation method have not been considered. From the collected data for each site each conducted investigation activity has been allocated to topic groups defined by content, i.e. regional geology (A), characteristics of host rock and surrounding rock on site (B), hydrogeology of host rock and surrounding rock (C) or hydrochemistry (D). The topic groups serve to summarize the information necessary to carry out long-term safety analyses, which themselves are required in steps 4 and 5 of the site selection procedure proposed by AkEnd. The information compiled in the topic groups also serve for the confirmation of the feasibility of construction of the underground space under the site-specific conditions and for demonstration of an adequate geoscientific understanding of the site. A further allocation of the information on the investigations was made with respect to the investigation methods used (e.g. boreholes, in situ measurements).

Based on the fact that neither in Germany nor internationally are there any formal standards for conducting investigation activities for repositories for radioactive wastes, it was assumed that the international investigation programmes for repositories form a sufficient basis for the required method selection and the required scope of investigations for sites in Germany. To standardize the assessment of the various repository programmes, and to enable a well-founded transfer to German conditions, a reliability index has been introduced. The employed approach for calculating the reliability index for the individual contents of each topic group requires an allocation to quality and quantity categories for each conducted investigation activity. As a basis for this approach the investigation activities have been divided into these categories.

The combined evaluations of the investigation activities actually carried out for each topic group are based on the following considerations:

- The reliability of a statement is a function of the quality as well as of the quantity of the investigation activity and the results that form the basis of the statement.
- In general the quality is more significant than the quantity (i.e. a large amount of data giving a false estimate of a parameter is considered as being less valuable than fewer data enabling good estimates).
- After each investigation step there is a remaining uncertainty regarding the in situ conditions and properties. During the investigation for a certain topic group although the knowledge increases with the number of activities adopted, the achievable increase in reliability, however, does not increase proportionately.

For each topic group a reliability index has been calculated on the basis of the categories for quality and quantity allocated to the conducted investigation activities. The calculated reliability indices for each of the assessed sites were presented in tables and diagrams and have been evaluated considering also the other investigation documentation.

For the definition of the site regions or sites for radioactive waste which are potentially to be investigated in step 4 and 5 of the repository site selection procedure as proposed by the AkEnd, it is required that the exclusion criteria as defined in the procedure do not apply and that the minimum requirements are met. Based on the expertise of the research project team members and the evaluated international information, generic investigations (the activities to be applied and their respective scope) were derived for the four geological formations to be considered in six site scenarios (evaporite - diapirs, bedded evaporites, clays and claystones, crystalline rocks with little cover, crystalline rocks with thick cover, other rocks under a clay cover). The presentation and assessment of these derived investigations was made in the same way as for the evaluated international investigations.

For the required site-specific comparison of the investigations already conducted in Germany with the investigation activities derived from international experience, the same presentation and assessment method was used for the sites Gorleben, Morsleben and Konrad.

Conclusions

Only some of the repository programmes or sites for radioactive waste initially identified in the course of the investigations were suitable for further consideration in research project SR 2555. With respect to the four different, pre-determined host rock groups - evaporite, clay/claystone, crystalline rock and other rock below clays - the number of relevant investigation sites is small. The research project team members' assessment is that only those URL-sites are relevant which are for the collection of site-specific data for the construction of a re-

pository. Regarding the remaining 13 investigation sites which are suitable for further consideration, it should be noted that in most cases the investigation works are still ongoing.

Despite the to be expected differences in the investigation programmes and the subjectivity of several necessary assessments for the allocations to the adopted quality or quantity categories, the results indicate a high level of consistency among the site investigations. Despite the real diverse rock-specific requirements a striking resemblance in the chosen procedures for the investigations was seen. A common usage of a combination of geophysics (above ground as well as in boreholes) and boreholes from the surface became apparent. For some of the topic groups, boreholes are essential for sampling and for carrying out in situ tests. In the underground part of the investigations these aspects together with the deepening of knowledge of the petrophysical properties were pursued further. In conclusion, the evaluation of the international and national data showed that underground investigation is essential for obtaining an adequate data base for an assessment of a repository site.

The assessment of the various sites showed that at sites subject to a specific selection procedure equivalent to step 4 and 5 of the AkEnd proposal, the scope and extent of the performed investigation activities is significantly higher than at sites for which such a selection procedure was not required.

As a result of the work conducted it is considered that the available information including the expertise of the research project team was sufficient to allow the derivation of investigation activities, although only a few international sites were available for reference and there is thus no reliable statistical basis for the assessment of investigation activities and their scope.

For the selection of investigation activities only commonly applicable methods and scopes have been taken into account, as the investigation activities for specific sites can only be designed after the initially available information is evaluated.

The comparison of the investigations performed at the three German sites (Gorleben, Morsleben, Konrad) for the final storage of radioactive wastes with the investigation methods derived on the basis of international experience documents the significance of the specific boundary conditions and the objectives at the time of each investigation activity. At the Gorleben site extensive investigations have been carried out, but these were not the basis for a comparative selection procedure. The two sites Konrad and Morsleben had already been used for mining and due to the conditions there that were considered favourable they were taken into consideration for a use as a repository. The derivations were made for sites without any previous underground development and under the assumption that several sites would be compared. Thus the conducted investigations do not reflect the objectives assumed for the derivation of

investigation measures on the basis of international experience. This explains to a large extent the differences between the German investigation programmes and the derived investigation measures.

The comparisons carried out in this report indicate a very good investigation status for the Gorleben and Morsleben sites. Overall, the Morsleben site exhibits a better investigation status than the Gorleben site; however, the work in Gorleben has not been completed yet due to a moratorium. Compared with the derived investigation measures the investigation status at the Konrad repository is comparatively low and this reflects the data available to the research project team members for the investigation activities dated 1982 to 1989. At that time comprehensive information was already available from regional exploration activities for hydrocarbons and ore extraction, and from the long-term use as an iron ore mine including preliminary site suitability investigations made by GSF.

From the preparation of this report and from the results obtained there are some indications for future investigation activities for potential repository sites in Germany:

- The similarities which were found between the ongoing international investigations demonstrate that the measures derived from them are at least an adequate basis for the definition of the content and scope of the investigations which are to be carried out and thus for an international state of science and technology.
- Investigation within a step-by-step site-selection procedure as proposed by AkEnd leads to higher investigation expenditure; however, the more comprehensive information obtained in this way would enable safer decisions in the required site selection for the construction of a repository for radioactive wastes.
- The evaluation of the international and national data showed that underground investigations are essential in order to obtain a data base sufficient for the assessment of a repository site.
- The limited possible comparison of international investigation requirements with the corresponding German experiences did not indicate a need for changes in the German procedures as far as the methods and scope of investigations for a site for a repository for radioactive waste are concerned.
- International cooperation and the comprehensible publication of detailed investigation information promote the scientific exchange of experience and may lead to an improvement of the procedures.

1 EINLEITUNG

1.1 Veranlassung

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hat mit Datum vom 06.12.2006 die Golder Associates GmbH (GOLDER), Vorbruch 3, D-29227 Celle, im Rahmen des Forschungsvorhabens SR 2555 zum Thema „Anforderungen an Methoden und Umfang der über- und untertägigen Erkundung eines Standortes für ein Endlager unter Einbeziehung eines internationalen Vergleichs“ auf Basis des Angebotes Nr. p063-4684 mit der Durchführung der Arbeiten beauftragt.

Zur Bearbeitung von Schwerpunktaufgaben wurden folgende Unternehmen als Unterauftragnehmer von GOLDER ASSOCIATES einbezogen:

- GGL Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH (GGL)
- IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH (IfG)

Die Bearbeitung des Vorhabens erfolgte in vier Arbeitsschritten; die Ergebnisse der jeweiligen Schritte wurden in Sachstandsdarstellungen erfasst. Die vier Arbeitsschritte waren:

- Recherche internationaler Erkundungsmethoden und deren Zielsetzung
- Darstellung und Bewertung internationaler Erkundungsprogramme
- Ableitung von Erkundungsmaßnahmen für Deutschland
- Vergleich internationaler Erkundungsanforderungen mit Erfahrungen aus Deutschland

In diesem Abschlussbericht sind die Bearbeitungsschritte sowie die Ergebnisse des gesamten Vorhabens dargestellt.

1.2 Ziele der Bearbeitung

Der AkEnd [AKEND (2002)] hat ein Verfahren zur schrittweisen Auswahl von Standorten in Deutschland zur Endlagerung radioaktiver Abfälle in geologischen Formationen mit günstigen Voraussetzungen empfohlen. Danach ist im vierten und fünften Verfahrensschritt die übertägige bzw. untertägige Erkundung eines Standortes auf seine Eignung als mögliches Endlager für radioaktive Abfälle vorgesehen. Die Anwendung des aktuellen internationalen Standes von Wissenschaft und Technik ist eine Voraussetzung für die Methodenauswahl und den Umfang einer solchen Untersuchung in Deutschland.

Ziel der durchzuführenden Arbeiten war es, Informationen über die geowissenschaftlichen Methoden und den Umfang eines Standorterkundungsprogramms sowie die Methodenentwicklung international zu erfassen, um den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik zu dokumentieren. Auf dieser Grundlage war begründet darzustellen, welche Erkundungsmethoden im vierten und fünften Verfahrensschritt anzuwenden sind. Zudem waren die abgeleiteten Erkundungsmethoden mit den nationalen Anforderungen sowie den Erfahrungen in Deutschland zu vergleichen.

In Deutschland sind folgende geologische Formationen für ein Endlager für radioaktive Abfälle zu betrachten: Salzgesteine, Tone und Tonsteine, Kristallin sowie sonstige Gesteine unter Tonbedeckung.

1.3 Aufbau des Abschlussberichtes

Im Abschnitt 2 wird die Recherche internationaler Erkundungsmethoden und deren Zielsetzung sowie die Ergebnisse dieser Recherche dargestellt. Im Abschnitt 3 erfolgt die Beschreibung der Bearbeitung der Darstellung und Bewertung internationaler Erkundungsprogramme. Die Ableitung von Erkundungsmaßnahmen für Deutschland sowie die Ergebnisse dieses Arbeitsschrittes werden im Abschnitt 4 beschrieben. Die Darstellung der Vergleiche internationaler Erkundungsanforderungen mit Erfahrungen aus Deutschland erfolgt im Abschnitt 5. Die Schlussfolgerungen zum gesamten Vorhaben sind im Abschnitt 6 dargestellt.

Es hat sich gezeigt, dass der im Angebot erwähnte Bayes'sche Ansatz zur Beantwortung der konkret zu bearbeitenden Fragestellungen nicht sinnvoll eingesetzt werden kann. Der Ansatz findet demzufolge keinen Eintrag im Abschlussbericht.

2 INTERNATIONALE RECHERCHE

2.1 Vorgang

Im Arbeitsschritt „Internationale Recherche“ wurden die Methoden sowie die Zielsetzung der international durchgeführten Erkundungsprogramme für bereits errichtete bzw. in Errichtung befindliche Endlager radioaktiver Abfälle im tiefen geologischen Untergrund sowie entsprechende Forschungseinrichtungen wie untertägige Felslaboratorien recherchiert. Kontakt wurde mit entsprechenden Personen (siehe Anhang 1) in den jeweiligen Endlagerprogrammen aufgenommen. In den nach Gesteinen gegliederten Tabellen sind die Anlagentypen an den

jeweiligen Standorten angegeben sowie Informationen zu den entsprechenden Organisationen aufgeführt. In der Regel waren wiederholte Kontaktaufnahmen erforderlich, um grundsätzlich Reaktionen zu erhalten bzw. Einzelheiten des Informationsflusses zu klären. Bei den als Schlüsselkontakt für die jeweiligen Erkundungsprojekte angesprochenen Personen handelte es sich meist um bereits vorhandene Kontakte bzw. diesbezügliche kollegiale Empfehlungen. Das BfS stellte eine schriftliche Mitteilung zur Unterstützung der Anfragen bereit; diese wurde den Kontaktpersonen zugesandt.

Die Kontakte wurden zunächst über die aktuellsten umfassenden Informationsquellen befragt, die Art und Umfang der verschiedenen durchgeführten Untersuchungen an den relevanten Standorten beschreiben. Es wurde dabei betont, dass das gesamte Spektrum an Untersuchungen, von der Fernerkundung bis hin zu Labor- und In-situ-Analytik von Interesse ist. Die Kontaktpersonen wurden darüber hinaus hinsichtlich ihrer Bereitschaft befragt, weitere Informationen z.B. bzgl. der Faktoren, die zum umgesetzten Untersuchungsprogramm geführt haben, zu liefern.

In drei Fällen (JAEA, NIREX und ANDRA) erfolgte eine direkte Beteiligung des BfS mit dem Ergebnis einer Vereinbarung zur Kooperation mit den entsprechenden Institutionen.

- Im Fall JAEA wurde eine schriftliche Vereinbarung mit dem BfS getroffen, die eine bedingte Datennutzung erlaubte.
- NIREX hat direkt mit dem BfS eine Vereinbarung zum gegenseitigen Informationsaustausch getroffen.
- Da ANDRA nur auf direkte Anforderung durch das BfS tätig wird, wurde ein entsprechender Antrag seitens BfS gestellt. Im Ergebnis wurde die gewünschte Mitwirkung von ANDRA genehmigt.

2.2 Reaktionen der Ansprechpartner

Die Reaktionen der angesprochenen Kontakte reichten von einer Bereitschaft zur vollen Unterstützung beim Durchführen des Forschungsvorhabens bis hin zu keiner Antwort trotz wiederholter Kontaktaufnahme (Russland, Tschechische Republik).

Die Begründungen für die eingeschränkte Bereitschaft einiger Organisationen waren unterschiedlich. Im Fall JAEA erhielten wir die Erklärung des Vorbehaltes, dass ein Problem in der Folge einer anderweitigen Nutzung ihrer Informationen aufgetreten ist. In anderen Fällen, z.B. bei dem URL-Standort Mont Terri/Schweiz, können einschränkende Vereinbarungen zwischen den beteiligten Konsortiumsmitgliedern auf vorrangig interne Nutzung eine Rolle spielen. Es

ist auch nicht auszuschließen, dass interne Regeln der Organisationen zu einer Einschränkung der Kooperationsbereitschaft führen. Dies trifft für die ANDRA zu, gegebenenfalls auch für NIREX. Darüber hinaus ist allgemein eine gewisse Empfindlichkeit hinsichtlich einer Datenweitergabe in Zusammenhang mit der von der jeweiligen Organisation dann nicht mehr zu beeinflussenden (Teil)Veröffentlichung/Interpretation und der damit verbundenen möglichen negativen Wirkung auf die öffentliche Akzeptanz des Endlagerprogramms zu vermuten.

2.3 Ergebnisse

Der Informationsstand für die einzelnen geologischen Formationen ist unterschiedlich. Dies resultiert u.a. aus der Anzahl der Standorte in den jeweiligen Formationen und aus den unterschiedlichen Zielrichtungen der Erkundungen: diese können generisch in einem URL erfolgt sein oder wurden zielgerichtet für einen bereits in die Auswahl aufgenommenen Standort im Hinblick auf seine spätere Nutzung durchgeführt (siehe Anhang 1).

3 DARSTELLUNG UND BEWERTUNG INTERNATIONALER ERKUNDUNGSPROGRAMME

3.1 Recherchierte Standorte

3.1.1 Standortauswahl

Im Verlauf der Bearbeitung war erkennbar, dass nicht alle zuerst betrachteten Endlagerprogramme (Anhang 1) zum Erreichen der Vorhabensziele beitragen können. In einigen Fällen erfolgten bislang keine standortbezogenen Erkundungsaktivitäten. In anderen Programmen sind die durchgeführten Aktivitäten nicht als ein geeignetes bzw. zuverlässiges Modell für eine Erkundung im Rahmen des Schrittes 4 bzw. 5 des vom AkEnd vorgeschlagenen Auswahlverfahrens für Endlagerstandorte einzustufen.

Die ausgewählten Standorte gliedern sich in zwei Gruppen:

1. Ein sich in Betrieb befindliches tiefliegendes geologisches Endlager (WIPP/USA) sowie potenziell solche Endlagerstandorte, die in der Vergangenheit erkundet worden sind (z.B. Wellenberg/Schweiz oder Sellafield/England) bzw. zurzeit erkundet werden (z.B. Bataapati/Ungarn oder Forsmark/Schweden) sowie
2. Untertagelabors - URL

Untertagelabors, wie sie in einer Reihe von Ländern zumeist in internationaler Kooperation betrieben wurden bzw. werden, müssen nach ihrer jeweiligen Stellung in den nationalen Entsorgungsprogrammen und ihrem späteren Verwendungszweck unterschieden werden:

- I. Einige URLs sind nicht als Endlager vorgesehen und werden hier als generische URL bezeichnet. Diese werden in lithologisch den späteren Wirtsgesteinen vergleichbaren Formationen und Teufen, zumeist ausgehend von bereits vorhandenen bergmännisch erstellten Hohlräumen (z.B. Mont Terri/Schweiz oder Tournemire/Frankreich) oder auch in einem eigens zu diesem Zweck angelegten Forschungsbergwerk (z.B. wie geplant in Japan in Mizunami oder Horonobe) betrieben. Neben der Charakterisierung wichtiger Gesteinseigenschaften (z.B. Verständnisentwicklung gekoppelter mechanisch-hydraulischer Eigenschaften bei der Ausbildung der Auflockerungszone) steht die Erprobung spezieller Messverfahren und die Demonstration von Endlagertechniken im Vordergrund. Ein Erkundungsprogramm zur Vorbereitung der Nutzung des Standortes für ein Endlager erfolgt nicht. Die durchgeführten Untersuchungen dienen in erster Linie der Grundlagenforschung.
- II. Standortspezifische URLs werden an potenziellen oder benannten Endlagerstandorten (z.B. Bure/Frankreich) zu In-situ-Bestimmungen relevanter Parameter im Wirts- und Nebengestein, zur genaueren Charakterisierung der Standortverhältnisse sowie für weitergehende wissenschaftliche und technische Arbeiten in Zusammenhang mit zukünftigen Endlagerplanungs- und Genehmigungsschritten eingerichtet. Sowohl die Erkundungsschritte im Vorlauf der Errichtung des URL als auch die Arbeiten in der URL-Phase sind im Rahmen des gesamten Erkundungsprogramms für das zukünftige Endlager zu verstehen. Im Fall von Yucca Mountain/USA wird das im Rahmen der Vorerkundungsphase erstellte und als URL genutzte Streckensystem für die spätere Endlagerauffahrung weiter ausgebaut.

Aufgrund der vorliegenden Einschränkungen stellen URLs der Gruppe I keine zuverlässige Basis zur Entscheidung des erforderlichen Ausmaßes und der Gestaltung einer umfassenden Erkundung für einen echten Endlagerstandort dar. Nach Einschätzung der Bearbeiter des Forschungsvorhabens sind deshalb für das Vorhaben nur die Standorte relevant, die zu einem tiefen geologischen Endlager entwickelt werden bzw. werden können, d.h. nur die URL der Gruppe II. Es wird hier darauf hingewiesen, dass einige aufgrund politischer Entwicklungen bereits aufgegebene Standorte (z.B. Wellenberg/Schweiz) in die weitere Bearbeitung bzw. Bewertung einbezogen wurden. Solche aufgegebenen Standorte können eine nützliche Informationsquelle zu Erkundungen darstellen.

Ergab sich während der Bearbeitung, dass keine relevanten oder zuverlässigen Erkundungsinformationen vorhanden waren, so wurde dieser Standort bzw. dieses Endlagerprogramm ebenfalls ausgeschlossen (z.B. Niederlande).

Im Anhang 1 wurden die bearbeiteten Endlagerprogramme bzw. -standorte formationsbezogen zusammengestellt, wobei in den Tabellen die Namen der weiter zu betrachtenden Standorte fett gedruckt sind. Bei Programmen bzw. Standorten, die von der weiteren Bearbeitung ausgeschlossen wurden, werden Begründungen für den Ausschluss angegeben.

3.1.2 Standortbeschreibung

Für jeden im Anhang 1 aufgelisteten Erkundungsstandort wurde eine Beschreibung vorbereitet. Da sich das Vorhaben auf die Erkundung von Endlagerstandorten bezieht, wurden keine Beschreibungen für die Programme ohne nachgewiesene standortspezifische Aktivitäten erstellt. Für die Standorte, die nicht zur Bewertung weitergeführt wurden, sind die entsprechenden Beschreibungen im Anhang 2 zusammengestellt. Die sonstigen Beschreibungen befinden sich in der Dokumentation der einzelnen weiter betrachteten Standorte in den formationsbezogenen Anhängen 5 bis 8.

Die Standortbeschreibungen umfassen die folgenden Informationen:

- Name und Typ (z.B. potenzielles Endlager für HLW)
- Lage
- Betreiber
- Fläche des betrachteten Standortes
- Erschließung sowie Teufenlage
- Geologie
- Historie der Erkundung bzw. Erschließung des Standortes

3.1.3 Darstellungen der Erkundungen

Für die Darstellung der Erkundungen - d.h. die Zusammenfassung der durchgeführten Erkundungsmaßnahmen - wurden die bei den Bearbeitern des Forschungsvorhabens z.T. bereits vorliegenden sowie im Internet oder in der Literatur frei verfügbaren Informationen und die von den im ersten Arbeitsschritt kontaktierten Betreibern der verschiedenen Standorte zur Verfügung gestellten Informationen ausgewertet. Bei der Bearbeitung der Fragestellungen wurden Interpretationsaktivitäten, die nicht unmittelbar in Zusammenhang mit einer spezifischen Erkundungsmethode stehen, nicht berücksichtigt.

An dieser Stelle ist anzumerken, dass die für die verschiedenen Standorte vorliegende Datenbasis sehr unterschiedlich ist, was entweder aus der aktuell am Standort vorliegenden Bearbeitungstiefe resultiert (z.B. die WIPP/USA als ein genehmigtes Endlager, deren für die Genehmigung vorliegende Datenbasis über das Internet nahezu vollständig zugänglich ist) oder daraus, dass die frei verfügbaren Informationen aufgrund der programmbezogenen Informationspolitik nur gering sind (z.B. Whiteshell/Kanada).

Aus den gesammelten Informationen zu den Erkundungen wurden für die einzelnen Erkundungsstandorte die jeweils durchgeführten Maßnahmen inhaltlich den entsprechenden Themenkomplexen (siehe Anhang 18) - Regionale Geologie (A), Eigenschaften des Wirtsgesteins und der Rahmengesteine¹ am Standort (B), Hydrogeologie des Wirtsgesteins und der Rahmengesteine (C) oder Hydrochemie (D) - zugeordnet. Diese Themenkomplexe dienen der Zusammenfassung der Informationen, die für die Erarbeitung der in den Schritten 4 und 5 des vom AkEnd vorgeschlagenen Standortauswahlverfahrens [AKEND (2002)] durchzuführenden Langzeitsicherheitsanalysen erforderlich sind. Die im Rahmen der Themenkomplexe zusammengestellten Informationen dienen auch dem Nachweis der bautechnischen Machbarkeit der Hohlraumerstellung unter den standortspezifischen Gegebenheiten sowie eines ausreichenden geowissenschaftlichen Verständnisses des Standortes.

Eine weitere Zuordnung der Informationen zu Erkundungsprogrammen erfolgte bezüglich der verschiedenen verwendeten Erkundungsmethoden. Diese wurden zuerst als Sammelbegriffe festgelegt (siehe Anhang 3) und danach entsprechend der tatsächlichen Bandbreite der verwendeten Erkundungsmaßnahmen untergliedert. Es soll darauf hingewiesen werden, dass die Methoden in übertägige und untertägige Gruppen aufgeteilt wurden. Unter übertägigen Erkundungsmethoden sind diejenigen zu verstehen, die in der Phase einer übertägigen Erkundung eines Standortes - AkEnd-Verfahrensschritt 4 - verwendbar wären. Im Gegensatz wären die untertägigen Erkundungsmethoden nur im AkEnd-Verfahrensschritt 5 anwendbar.

Zwei Darstellungsformen wurden zur Dokumentation der jeweiligen Erkundungen entwickelt - eine detaillierte Textdatei sowie eine tabellarische Standortübersicht (siehe z.B. im Anhang 5). In beiden standortbezogenen Darstellungen wurden die in den Informationen beschriebenen Erkundungsmaßnahmen über die zwei oben beschriebenen Zuordnungen - Themenkomplexe bzw. Erkundungsmethode - identifiziert. Eine Erkundungsmaßnahme, die z.B. den Themenkomplex **B2** (*Eigenschaften des Wirtsgesteins und des Deckgebirges am Standort - Geome-*

¹ Rahmengesteine im Sinne der vorliegenden Ausführungen sind wirtsgesteinumschließende Gesteine.

trie (Tiefenlage, Ausdehnung)) erkundet, unter Anwendung einer Methode, die z.B. unter den Sammelbegriff **3** (Geophysik (im Bohrloch)) fällt, wäre mit **B2.3** identifiziert.

3.1.3.1 Textdateien

Die Beschreibungen für die einzelnen Standorte der tatsächlich durchgeführten Erkundungsmaßnahmen sind nach den Zeilen der Inhalte der Themenkomplexe aufgelistet. Die kurzen Beschreibungen sowie die entsprechenden Zitate dienen auch der Nachverfolgung der auch in der Textdatei eingetragenen Bewertung der einzelnen Maßnahmen bezüglich ihrer Qualität und Quantität (siehe Kap. 3.2).

3.1.3.2 Standortübersichten

In den Standortübersichten für die einzelnen Standorte stellen die zwei oben beschriebenen Zuordnungselemente - Inhalte der Themenkomplexe bzw. Sammelbegriffe der Erkundungsmethoden - die Zeilen bzw. Spalten einer Matrix dar. Für in den Standortunterlagen beschriebene Erkundungsaktivitäten ergeben sich entsprechend markierte Zellen - z.B. eine Markierung der Zelle **C2.6** hätte die Bedeutung, dass zur Bestimmung des Inhaltes des Themenkomplexes „Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein“ (**C2**) eine oder mehrere Erkundungsmaßnahmen unter dem Sammelbegriff „Feldmessungen - Geohydraulik“ (**6**) durchgeführt wurden.

3.2 Bewertungen

3.2.1 Basis der numerischen Bewertung

Sind die Informationen in ausreichender Quantität vorhanden und besitzen sie eine gute Qualität, dann ist davon auszugehen, dass eine auf diesen Informationen basierende Aussage eine hohe Zuverlässigkeit besitzt. Der Zuweisung einer hohen Zuverlässigkeit entspricht eine geringe Wahrscheinlichkeit, dass sich eine auf der Basis einer solchen Aussage getroffene Entscheidung später als falsch erweist.

Es wird hier angenommen, dass die Analyse der Erkundungen für Endlager in anderen Staaten eine Basis für Aussagen zur erforderlichen Methodenauswahl und zum erforderlichen Erkundungsumfang für Standorte in Deutschland darstellt. Zur Vereinheitlichung der Bewertung der verschiedenen Endlagerprogramme bzw. zur Ermöglichung der begründeten Übertragung auf deutsche Verhältnisse bietet sich die Anwendung eines Zuverlässigkeitsindex an. Ein solcher Index wurde im Rahmen des Vorhabens SR 2487 [GOLDER ASSOCIATES (2006)] im

Auftrag des BfS entwickelt. Die in vorliegendem Bericht verwendete Vorgehensweise zur Berechnung des Zuverlässigkeitsindex für die einzelnen Inhalte der Themenkomplexe (Anhang 18) erfordert die Zuordnung zu Qualitäts- und Quantitätskategorien jeder durchgeführten Erkundungsmaßnahme.

Als Grundlage für diese Vorgehensweise wurden die Erkundungsmaßnahmen in Kategorien eingeteilt. Die bei der Zusammenstellung des vorliegenden Berichtes verwendeten Kriterien zur Zuordnung der Erkundungsmaßnahmen zu Qualitäts- bzw. Quantitätskategorien sind im Anhang 4 dargestellt.

Der hier angewandten Vorgehensweise zur zusammenfassenden Bewertung der zu einem Inhalt der Themenkomplexe tatsächlich durchgeführten, teilweise sowohl bzgl. der Qualität als auch der Quantität unterschiedlichen Erkundungsmaßnahmen, liegen die folgenden weiteren Überlegungen zugrunde:

- Die Zuverlässigkeit einer Aussage ist eine Funktion sowohl der Qualität als auch der Quantität der der Aussage zugrunde liegenden Erkundungsmaßnahmen bzw. der daraus abgeleiteten Ergebnisse.
- Im Allgemeinen ist die Qualität wesentlicher als die Quantität (viele Informationen, die eine falsche Schätzung eines Parameterwertes liefern, sind weniger wertvoll, als wenige Informationen, die gute Schätzwerte ermöglichen).
- Nach jedem Erkundungsschritt verbleibt eine Restunsicherheit bzgl. der Gebirgsbedingungen und -eigenschaften. Bei Erkundung eines bestimmten Themenkomplexes steigt mit der Anzahl der hierzu angewandten Maßnahmen der Erkenntniszuwachs, der erreichbare Zuverlässigkeitsgewinn erhöht sich jedoch unterproportional.

Für die jeweiligen Erkundungsmaßnahmen wurde auf der Basis der zugeordneten numerischen Kategorien zu Qualität bzw. Quantität ein Zuverlässigkeitsindex (Z_{kg} für die gemeinsame Betrachtung mehrerer Erkundungsmaßnahmen) berechnet. Um dabei den o.g. unterschiedlichen Wichtigkeiten der Qualität bzw. Quantität Rechnung zu tragen, wurden Exponenten kleiner 1 (hier 0,5) eingeführt, die nur die quantitätsbezogenen Zahlen modifizieren. Um die Vergleichbarkeit der berechneten Zuverlässigkeitsindizes zu gewährleisten, müssen gleiche Exponentenwerte verwendet werden. Mit der Verwendung eines anderen Exponentenwertes wären die berechneten Zuverlässigkeitsindizes als Zahlenwerte jeweils anders, jedoch würden die relativen Stellungen der bewerteten Erkundungsmaßnahmen zueinander gleich bleiben.

Zur Berechnung des Zuverlässigkeitsindex (Z_k) für eine einzige Erkundungsmaßnahme wurde die folgende Formel eingesetzt

$$Z_k = B_{Qual} * (B_{Quant})^{ExpQuant} \quad (1)$$

mit

B_{Qual} zugeordnete Qualitätskategorie (1 bis 3)

B_{Quant} zugeordnete Quantitätskategorie (1 bis 3)

$ExpQuant$ ein beliebiger Exponent kleiner 1, z.B. 0,5 (im vorliegenden Bericht zum Zweck der Vergleichbarkeit festgelegt; wichtet die Quantität gegenüber der Qualität)

Bei der Zusammenfassung von unterschiedlichen Erkundungsmaßnahmen, die gemeinsam zur Aufklärung eines Inhaltes der Themenkomplexe beitragen, wird eine Gewichtung auf der Basis der jeweiligen Quantität benötigt. Bei n Erkundungsmaßnahmen mit möglicherweise unterschiedlichen Qualitäts- bzw. Quantitätskategorien wird der gewichtete gemeinsame Zuverlässigkeitsindex (Z_{kg}) wie folgt berechnet:

$$Z_{kg} = \frac{(\sum_n Z_{kn} * B_{Quantn}) * (n)^{ExpSatz}}{(\sum_n B_{Quantn})} \quad (2)$$

mit

Z_{kn} Zuverlässigkeitsindex für Datensatz n allein

B_{Quantn} Quantitätskategorie (1 bis 3) für Datensatz n allein

$ExpSatz$ ein beliebiger Exponent kleiner 1, z.B. 0,5 (im vorliegenden Bericht zum Zweck der Vergleichbarkeit festgelegt; wichtet die Quantität gegenüber der Qualität)

In Abbildung 3.2.1-1 sind die mit den Exponenten $ExpQuant$ bzw. $ExpSatz = 0,5$ berechneten Zuverlässigkeitsindizes für mehrere Kombinationen von Datensätzen mit verschiedenen Qualitäts- bzw. Quantitätskategorien beispielhaft grafisch dargestellt.

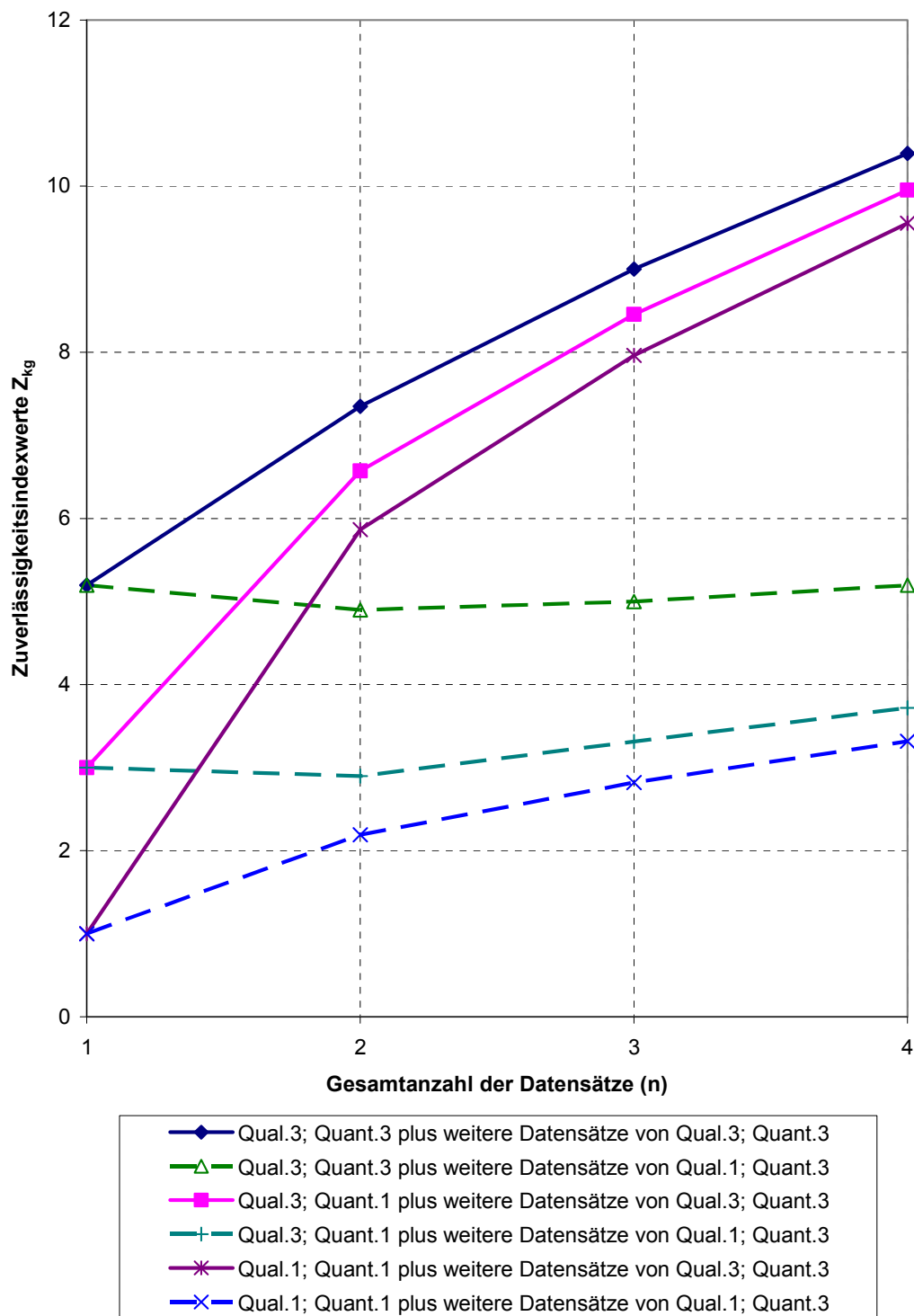


Abb. 3.2.1-1 Berechnete Zuverlässigkeitsindizes für Kombinationen von Erkundungsmaßnahmen mit verschiedenen Qualitäts- bzw. Quantitätskategorien

Darstellungen der numerischen Ergebnisse

Die berechneten Indexwerte für jeden Inhalt der Themenkomplexe sind für die 13 bewerteten Standorte in der Tabelle 3.2.2-1 zusammengefasst. In der Tabelle ist auch der Umfang der jeweiligen Erkundung - nur übertägig oder übertägig und untertägig - eingetragen. Im Schritt 4 des vom AkEnd vorgeschlagenen Verfahrens ist die übertägige Erkundung der Standorte bzw. im Schritt 5 die weitere Erkundung untertägig beabsichtigt.

Ein Eintrag von kA in einer Zelle der Tabelle deutet darauf hin, dass für den jeweiligen Standort keine bewertbaren Angaben zur Erkundung des Inhaltes des entsprechenden Themenkomplexes gefunden wurden.

Die berechneten Zuverlässigkeitsindizes für die einzelnen bewerteten Standorte sind in den Abbildungen 3.2.3.2-1 bis einschließlich 3.2.3.5-1 grafisch dargestellt. Für diese Abbildungen erfolgte eine erste Untergliederung der Standorte auf Basis des jeweiligen Gesteinstyps - Salzgesteine, Tone und Tonsteine, Kristallin sowie sonstige Gesteine. Die zweite Aufteilung entspricht dem jeweiligen Stadium der Erkundungsaktivitäten - nur übertägig oder übertägig und untertägig. Standorte mit untertägigen Bauaktivitäten, die aber (noch) kein URL sind (Onkalo/Finnland, Bataapati/Ungarn), wurden der ersten Gruppe zugeordnet. Die fünf Standorte in der Gruppe „Kristallin; übertägig“ wurden in den Abbildungen weiter aufgeteilt. Es wurde in diesem Fall unterschieden zwischen den erkundeten Einzelstandorten - Onkalo/Finnland, Bataapati/Ungarn und (zurzeit der damaligen Erkundungen) Sellafield/England - und den Standorten, die noch in einem expliziten Auswahlverfahren stehen - Oskarshamn/Schweden und Forsmark/Schweden.

3.2.2 Gesteinsbezogene Bewertung

3.2.2.1 Einführende Anmerkungen

In den folgenden gesteinsbezogenen Abschnitten werden sowohl die Übersichtstabellen (in den Anhängen 5 bis 8) wie auch die berechneten numerischen Ergebnisse betrachtet. Bei der Betrachtung der numerischen Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die zugrunde liegenden und hier bewerteten Informationen Erkundungsschritte umfassen, die nicht unbedingt mit Schritt 4 bzw. 5 des vom AkEnd vorgeschlagenen Auswahlverfahrens übereinstimmen. Dies ist sowohl in der Geschichte der jeweiligen Standorte sowie in den jeweiligen nationalen Anforderungen an die Erkundung begründet. Es ist weiter zu berücksichtigen, dass die Mengen bzw. die auf der Basis der Mengen erfolgten Zuordnungen zu einer Quantitätskategorie wahrscheinlich Unterschätzungen sind. Bei der Fülle der für manche Standorte (z.B. der WIPP/USA) vorliegenden Informationen ist eine vollständige Erfassung schwer sicherzustellen. Für andere Standorte musste manchmal aufgrund fehlender Informationen eine Mindestquantität angenommen werden. Hinzu kommt, dass für einige Standorte mit laufenden Erkundungsprogrammen die Berichte noch nicht zur Verfügung stehen und in einigen Fällen die Erkundungen vor dem ursprünglich geplanten Endstand abgebrochen wurden.

Unter Betrachtung der Vorhabensziele, die sich auf die Phase einer Erkundung im Rahmen von Schritt 4 bzw. 5 des vom AkEnd vorgeschlagenen Auswahlverfahrens beziehen, wird erwartet, dass einige Erkundungsaspekte nicht mehr relevant sind. Es wäre zu erwarten, dass die Informationen bzgl. der regionalen Geologie für eine Fläche von etwa 400 km² (siehe Anhang 18) einen wesentlichen Anteil der Informationen zur Auswahl des konkreten Standortes

für die Erkundung unter Schritt 4 darstellen. Im Vergleich dazu dürfte die zu erkundende Fläche im Schritt 4 die Größenordnung von nur etwa 10 km² betragen. Für die Erkundungsmethoden (siehe Anhang 3) gilt eine ähnliche Betrachtung; insbesondere für die Fernerkundung. Solche wahrscheinlich (zum Vorhabensziel) irrelevanten Erkundungsaspekte wurden nur teilweise während der aktuellen Bearbeitung erfasst. Qualitäts- und Quantitätskategorien (siehe Anhang 4) wurden für Fernerkundungsmaßnahmen nicht festgelegt.

Bei einem Vergleich zwischen Standorterkundungen ist immer zu berücksichtigen, dass die tatsächlich an einem Standort durchgeführten Erkundungen von den jeweiligen gesamten Rahmenbedingungen - geographisch, geologisch, technisch, politisch, ökonomisch usw. - sehr stark abhängig sind.

3.2.2.2 Salzgesteine

Die zur Bewertung zur Verfügung stehenden Standorte im Salzgestein stellen die zwei Extrema dar. WIPP/USA ist das einzige in Betrieb befindliche Endlager überhaupt. Im Gegensatz dazu erfolgten am Standort Scanzano Jonico nur Vorerkundungen mit anderen Zielen, als die Errichtung eines Endlagers für radioaktive Abfälle.

Die Bewertung der Informationen für Scanzano Jonico ist in Abbildung 3.2.2.2-1 dargestellt. Mit diesem Informationszustand ($Z_{kg} \sim 6$) wurde die Entscheidung auf technischer Ebene getroffen, eine untertägige Erkundung durchzuführen, die aber danach politisch nicht durchsetzbar war.

Die Informationen in Abbildung 3.2.2.2-2 für WIPP/USA sind bezüglich der erreichten Datenbasis beispielhaft für die Bewertung zum Schritt 5, zumal die WIPP/USA auf Basis der vorliegenden Daten und den darauf basierenden Sicherheitsanalysen als Endlager genehmigt ist. Dort wurde ein höherer Informationsstand ($Z_{kg} \sim 8$) erreicht. Die Gründe, warum einzelne Themenkomplexe dennoch nicht durch umfassendere Informationen repräsentiert sind, werden im Zusammenhang mit den wirtsgesteinsspezifischen Eigenschaften einer Salzformation verständlich. Dort sind aufgrund der vorhandenen Homogenität und Dichtheit des Wirtsgesteins trotz einer für die flache Lagerung spezifischen Gesteinsschichtung (infolge von Anhydriteinschaltungen) lithologische und geochemische Eigenschaften sowie hydraulische Transporteigenschaften des Wirtsgesteins sowohl für die Bewertung der hydraulischen und mechanischen Integrität beim Betrieb des Endlagers als auch der Langzeitsicherheit von untergeordneter Bedeutung.

In den für die beiden Salzstandorte zusammengestellten Übersichtstabellen (im Anhang 5) ist die allgemein übliche Kombination von Geophysik (übertägig sowie im Bohrloch) mit Bohrun-

gen ersichtlich. Für einige Themenkomplexe (von größerer Bedeutung im Deckgebirge) sind die Bohrungen zur Beprobung bzw. zum Durchführen von z.B. hydraulischen In-situ-Tests in jedem Fall unerlässlich. Im untertägigen Anteil der Erkundungen werden diese Aspekte zusammen mit der Vertiefung der Kenntnisse der petrophysikalischen Eigenschaften weiter verfolgt.

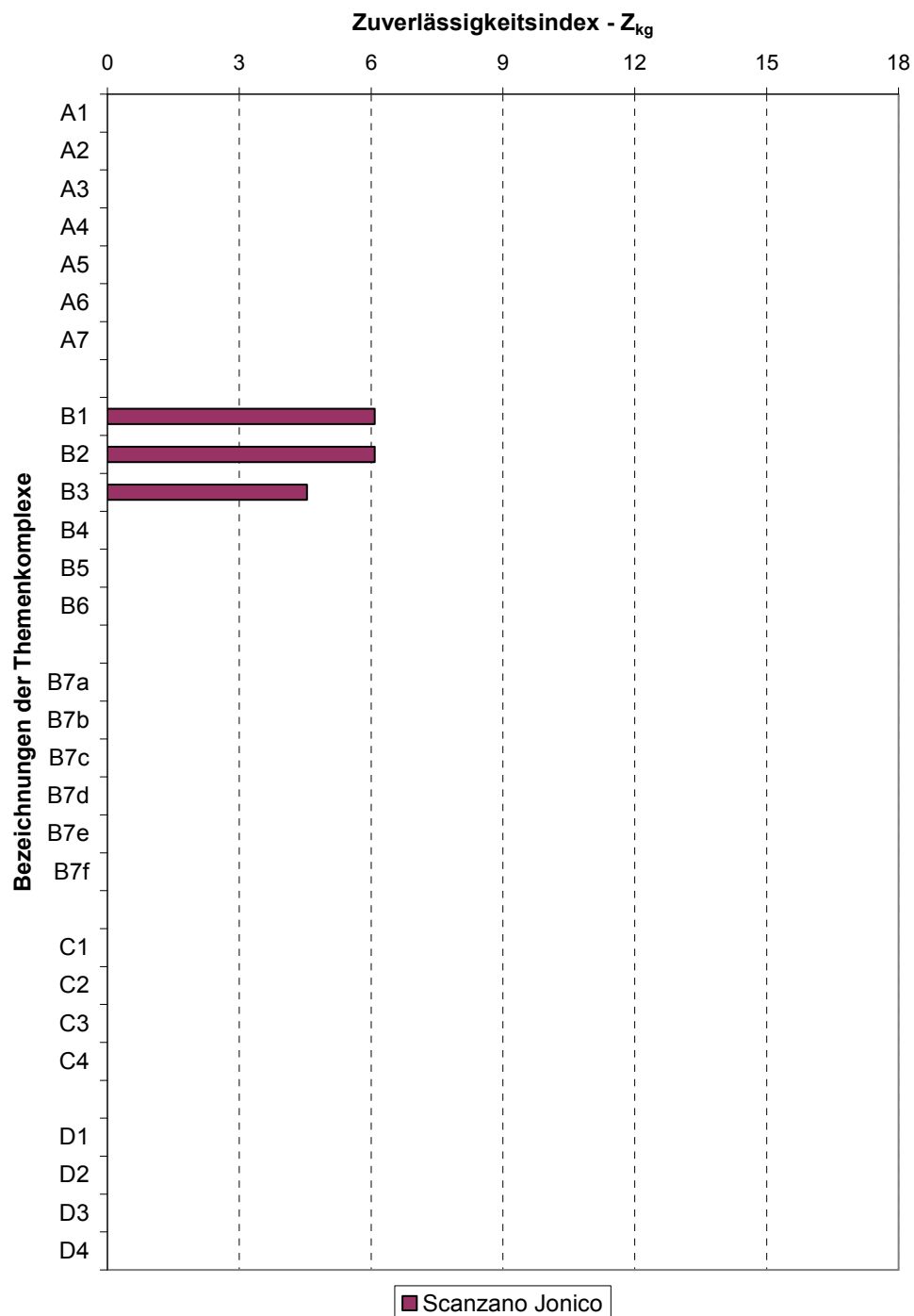


Abb. 3.2.2.2-1 Zuverlässigkeitsindizes: Salzgesteine (nur übertägig) - Scanzano Jonico

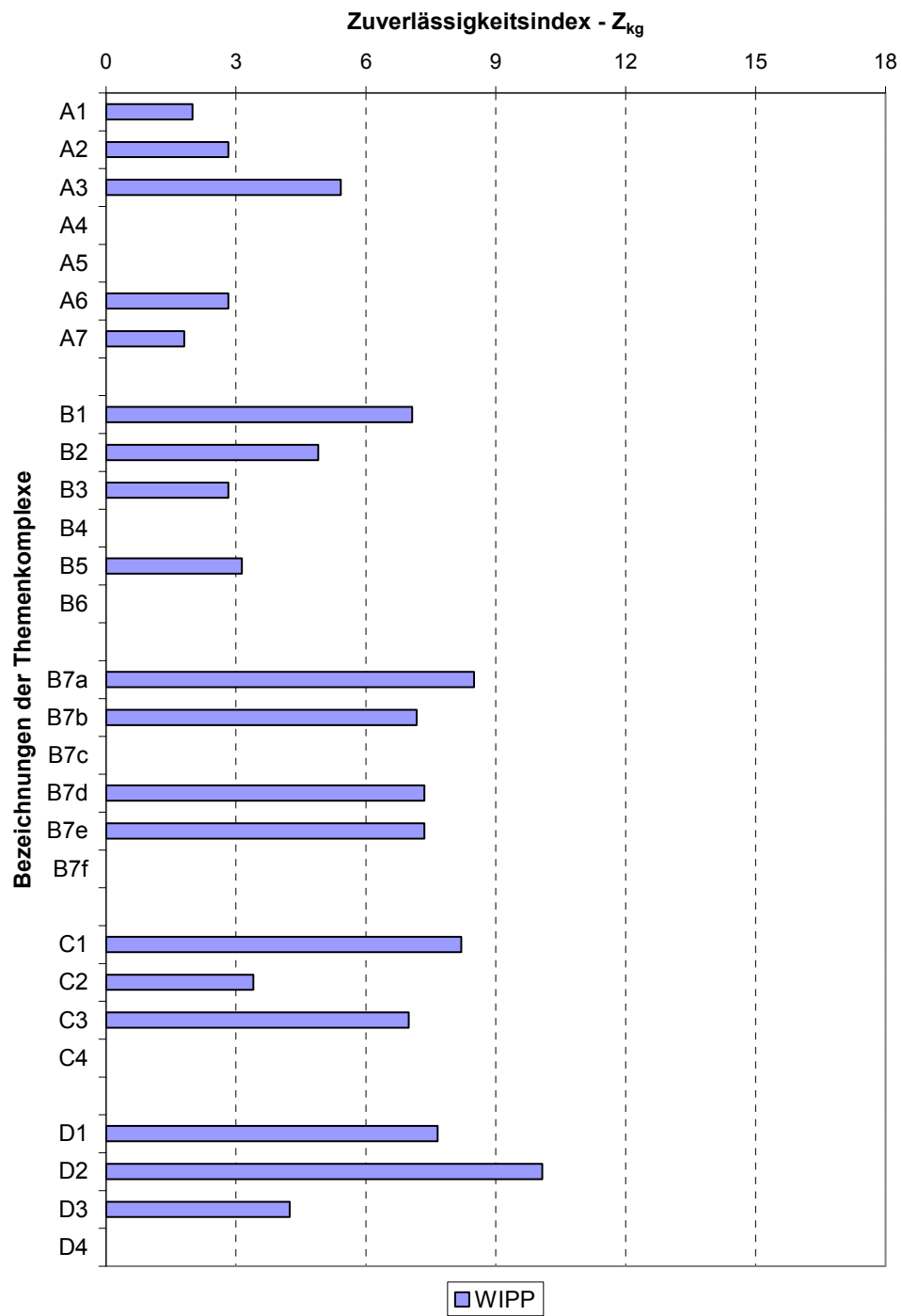


Abb. 3.2.2.2-2 Zuverlässigkeitsindizes: Salzgesteine in flacher Lagerung (übertägig und untertägig) - WIPP/USA

3.2.2.3 Tone/Tonsteine

Die Informationen zu den Zuverlässigkeitsindizes für die zwei „Tonstein“-Standorte mit nur übertägigen Erkundungen - Benken/Schweiz bzw. Wellenberg/Schweiz - sind in Abbildung 3.2.2.3-1 enthalten. Der dort gewonnene insgesamt gute Erkundungsstand wird auch durch die darauf basierenden weiteren Schlussfolgerungen bzw. weiteren Maßnahmen der NAGRA dokumentiert. Auf Basis der im Rahmen der Erkundungsprojekte erzielten Informationen wurde für Benken/Schweiz anschließend eine umfassende Sicherheitsstudie veröffentlicht und im Fall Wellenberg/Schweiz wurde befürwortet, die Erkundung untertägig weiter zu verfolgen.

Für die Themenkomplexe B1 bis B3, die die Eigenschaften des Wirtsgesteins und des Deckgebirges am Standort (Lithologie, Geometrie, Makro-Struktur) abdecken, wurden Z_{kg} -Werte von $\sim 7,5$ erreicht sowie von $\sim 4,5$ für die Komplexe von B5 mit Ausnahmen bis hin zu C4. Für den Standort Wellenberg/Schweiz wurden die eher schwierig zu erkundenden Aspekte unter B4, B7d, B7e sowie B7f nicht oder nur teilweise (B4 sowie B7d) und weniger ausführlich untersucht, als für Benken/Schweiz. Dieser Unterschied lässt sich vielleicht in den Zielstellungen bzgl. der Durchführung eines untertägigen Erkundungsschrittes erklären. Am Standort Benken/Schweiz wurde dieser nicht beabsichtigt.

In den Übersichtstabellen (im Anhang 6) wird wiederum die klassische Vorgehensweise bei der Erkundung ersichtlich, d.h. eine Kombination von extensiver Geophysik (übertägig sowie im Bohrloch) mit Bohrungen. Für einige Themenkomplexe, z.B. zur Bestimmung mechanischer Kenngrößen als Voraussetzung zum Nachweis einer bautechnischen Machbarkeit eines geplanten Endlagers in der untersuchten Teufe, wurden die Bohrungen auch zur erforderlichen Beprobung bzw. zum Durchführen von In-situ-Tests verwendet.

Die zwei Standorte mit übertägigen und untertägigen Erkundungen - Bure/Frankreich und Mol/Belgien - sind verschieden, aber in beiden laufen noch Erkundungsaktivitäten, was ihren Nutzen für die Bewertung des erforderlichen Umfangs eines abgeschlossenen Schrittes 5 wesentlich einschränkt.

Am Standort Bure/Frankreich steht ein verfestigter Tonstein an, in welchem beabsichtigt ist, ein Endlager zu errichten, allerdings nicht an diesem Standort, aber in derselben geologischen Formation. Für einige Themenkomplexe (Abbildung 3.2.2.3-2) stehen noch keine Informationen zur Verfügung. Für die Themenkomplexe mit Informationen sind die Zuverlässigkeitsindexwerte mit ~ 8 etwas höher als für die übertägig erkundeten „Tonstein“-Standorte.

In Mol/Belgien ist das anstehende Wirtsgestein ebenfalls ein Ton, der sich aufgrund seines geringeren Konsolidationsgrades jedoch mehr plastisch verhält. Obwohl die Errichtung eines

Endlagers am Ort des URL nicht beabsichtigt ist, wurden Erkundungen auch außerhalb der näheren Umgebung der untertägigen Forschungseinrichtung durchgeführt. Die Abbildung 3.2.2.3-2 macht deutlich, dass über die verschiedenen Erkundungsphasen Informationen zu mehreren Themenkomplexen gewonnen werden konnten. Auffällig ist, dass dort, wo diese auch in Bure/Frankreich abgedeckt sind, die entsprechenden Indexwerte für Bure/Frankreich höher liegen. Dieser Unterschied lässt sich vielleicht mit der besseren Ressourcenverfügbarkeit, d.h. dem konsequenteren Vorgehen infolge einer politischen Vorgabe, im Endlagerprogramm in Frankreich erklären.

Sowohl für Wellenberg/Schweiz (nur übertägig) als auch für Bure/Frankreich (untertägige Erkundungen angelaufen) liegen einige Zuverlässigkeitsindexwerte für die hydrochemischen Themenkomplexe verhältnismäßig hoch. Eine mögliche Ursache ist die jeweilige Festlegung der Kriterien in der Tabelle in Anhang 4.

Bei den Übersichtstabellen für Mol/Belgien sowie Bure/Frankreich (im Anhang 6) ist wiederum die Verwendung der Kombination von Geophysik (übertägig sowie im Bohrloch) mit Bohrungen ersichtlich. Für einige Themenkomplexe sind die Bohrungen zur Beprobung bzw. zum Durchführen von In-situ-Tests in jedem Fall unerlässlich. In der untertägigen Erkundung werden diese Aspekte weiter verfolgt, zusammen mit der Vertiefung der Kenntnisse der petrophysikalischen, hydrogeologischen sowie hydrochemischen Eigenschaften.

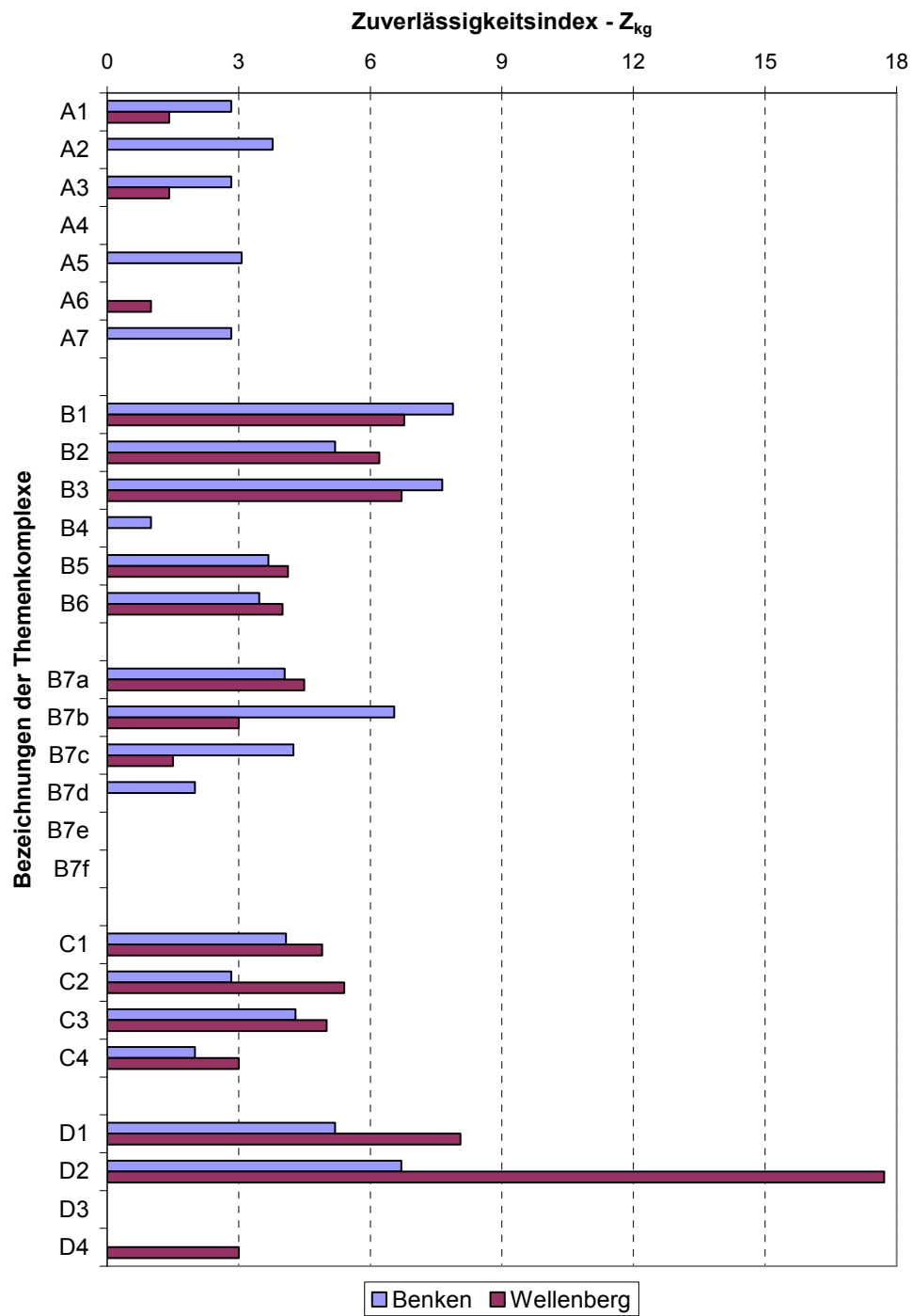


Abb. 3.2.2.3-1 Zuverlässigkeitsindizes: Tone/Tonsteine (nur übertäglich) - Benken/Schweiz, Wellenberg/Schweiz

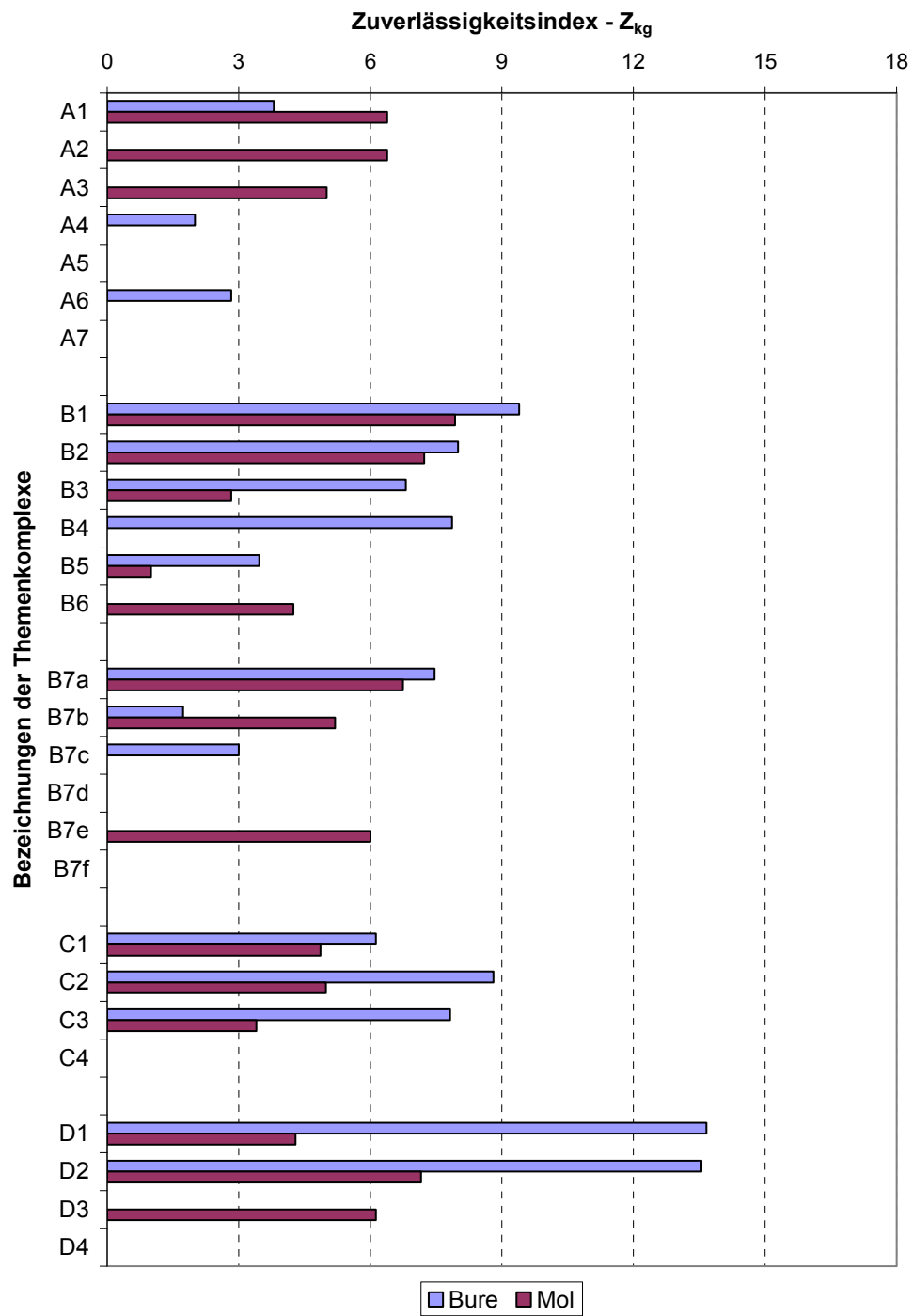


Abb. 3.2.2.3-2 Zuverlässigkeitsindizes: Tone/Tonsteine (übertägig und untertägig) - Mol/Belgien, Bure/Frankreich

3.2.2.4 Kristallin

In fünf von den sechs bewerteten Standorten im Kristallin ist kein URL vorhanden. Das einzige URL ist der Standort Whiteshell/Kanada. Es ist beabsichtigt, ein URL in Onkalo/Finnland zu errichten, wenn die geplante Erkundungsteufe erreicht wird. Allerdings erfolgen bereits einige untertägige Erkundungen im Zufahrtstunnel.

Die berechneten Zuverlässigkeitsindexwerte für die Standorte mit nur übertägigen Erkundungen sind in Abbildung 3.2.2.4-1 für die Einzelstandorte Bataapati/Ungarn, Onkalo/Finnland sowie Sellafield/England bzw. in Abbildung 3.2.2.4-2 für die Standorte in einem Auswahlverfahren - Forsmark/Schweden sowie Oskarshamn/Schweden - dargestellt. Ein Vergleich der zwei Abbildungen zeigt einen signifikanten Unterschied mit einer wesentlich besseren Abdeckung der Themenkomplexe sowie höhere Werte für B1 bis B3 im Fall Forsmark/Schweden / Oskarshamn/Schweden (~12) im Vergleich mit ~10,5 für die o.g. Einzelstandorte. Diese Standorte liefern die besseren Beispiele für eine Erkundung im Rahmen eines Auswahlverfahrens nach den Vorschlägen des AkEnd. Es ist dabei anzumerken, dass nicht alle Informationen zu Forsmark/Schweden sowie Oskarshamn/Schweden zur Verfügung stehen, da die Erkundungsaktivitäten noch nicht beendet sind.

Im Vergleich mit den Ergebnissen für die Standorte in Salzgesteinen bzw. Ton/Tonsteinen zeigen die Kristallinstandorte mit nur übertägiger Erkundung eine intensive Bearbeitung der hydrogeologischen Themenkomplexe (C1 bis C3) - Indexwert ~10. Dies ist vermutlich auf die Bedeutung von hydraulischen Stofftransportprozessen über vorhandene Kluftwegsamkeiten für die Endlagersicherheit an solchen Standorten zurückzuführen.

Mit der Ausnahme von Onkalo/Finnland sowie Whiteshell/Kanada zeigen die Übersichtstabellen für die Kristallin-Standorte das bekannte, bereits beschriebene Muster.

Es ist möglich, dass einige der Zuverlässigkeitsindexwerte für den URL-Standort Whiteshell/Kanada (Abbildung 3.2.2.4-3) eine wesentliche Unterschätzung des realen Zustandes darstellen. Für Erkundungen zu mehreren Themenkomplexen musste wegen fehlender Informationen die Annahme von Mindestquantitäten gemacht werden.

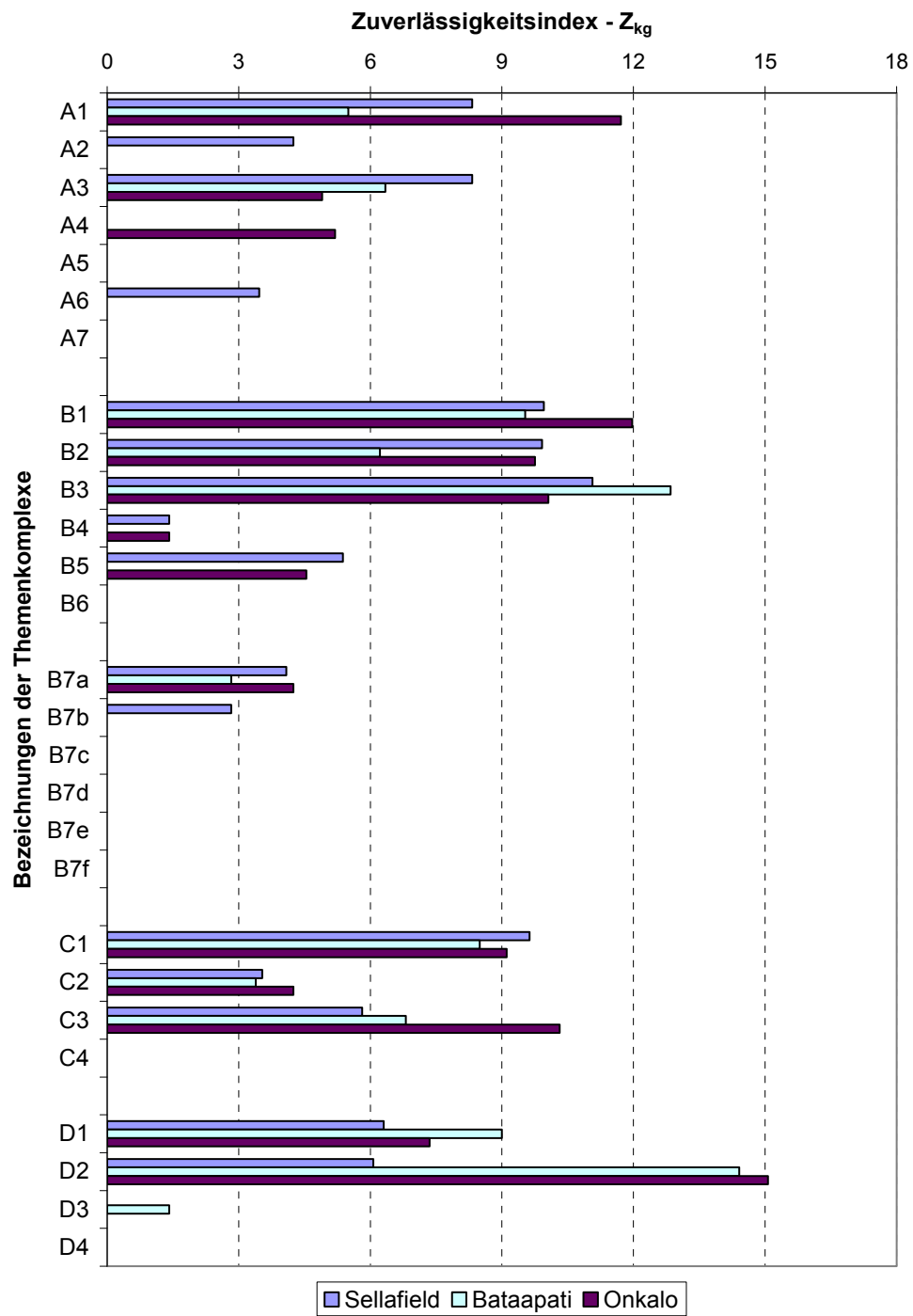


Abb. 3.2.2.4-1 Zuverlässigkeitsindizes: Kristallin (nur übertägig) - Bataapati/Ungarn, Onkalo/Finnland, Sellafeld/England

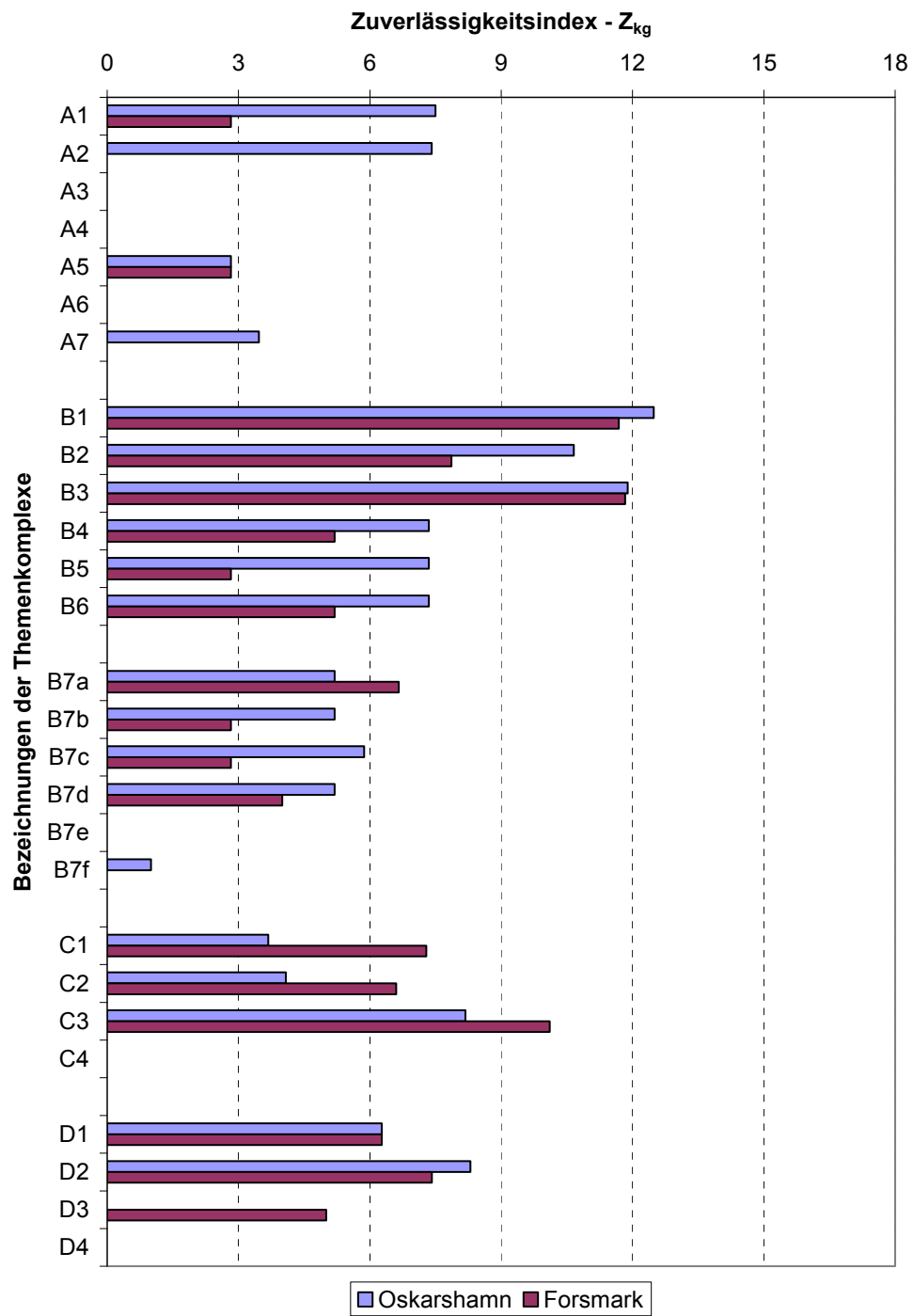


Abb. 3.2.2.4-2 Zuverlässigkeitsindizes: Kristallin (nur übertägig) - Forsmark/Schweden, Oskarshamn/Schweden

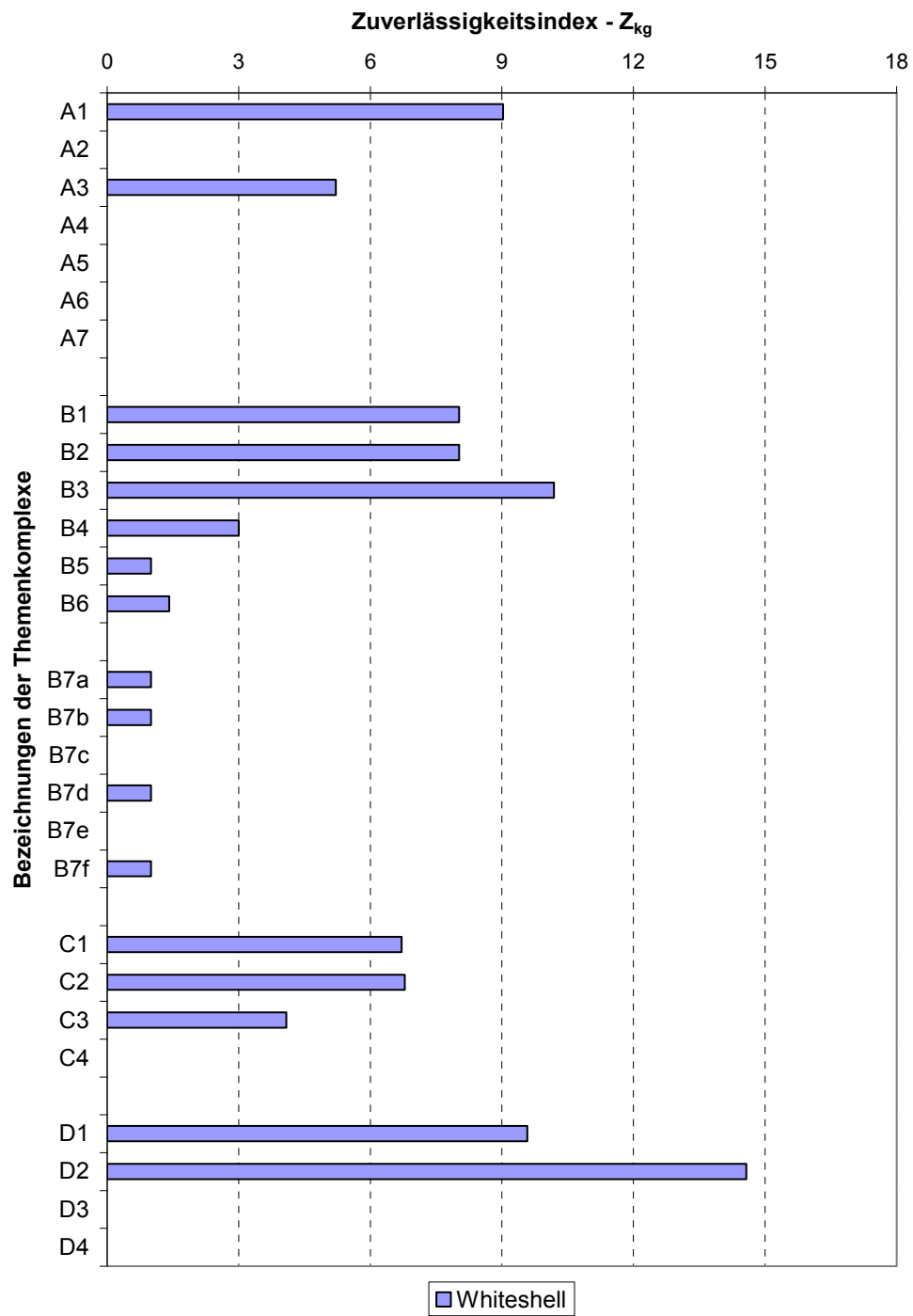


Abb. 3.2.2.4-3 Zuverlässigkeitsindizes: Kristallin (übertägig und untertägig) - Whiteshell/Kanada

3.2.2.5 Sonstige Gesteine

Die berechneten Zuverlässigkeitsindexwerte für Yucca Mountain/USA werden in der Abbildung 3.2.2.5-1 gezeigt. Da die Einlagerung in grundwasserungesättigten Gesteinen geplant ist, ist das Fehlen von Informationen zu einigen Themenkomplexen bzgl. des Radionuklidtransportes im Grundwasser (B7b, B7c, C1) verständlich. Dieser grundwasserungesättigte Zustand des Gesteins ist nicht repräsentativ für typische Gegebenheiten in Deutschland.

Die Übersichtstabelle (Anhang 8) zeigt die übliche Kombination von Erkundungsmethoden sowie zusätzliche Aktivitäten bzgl. petrophysikalischer Eigenschaften im Rahmen des URL.

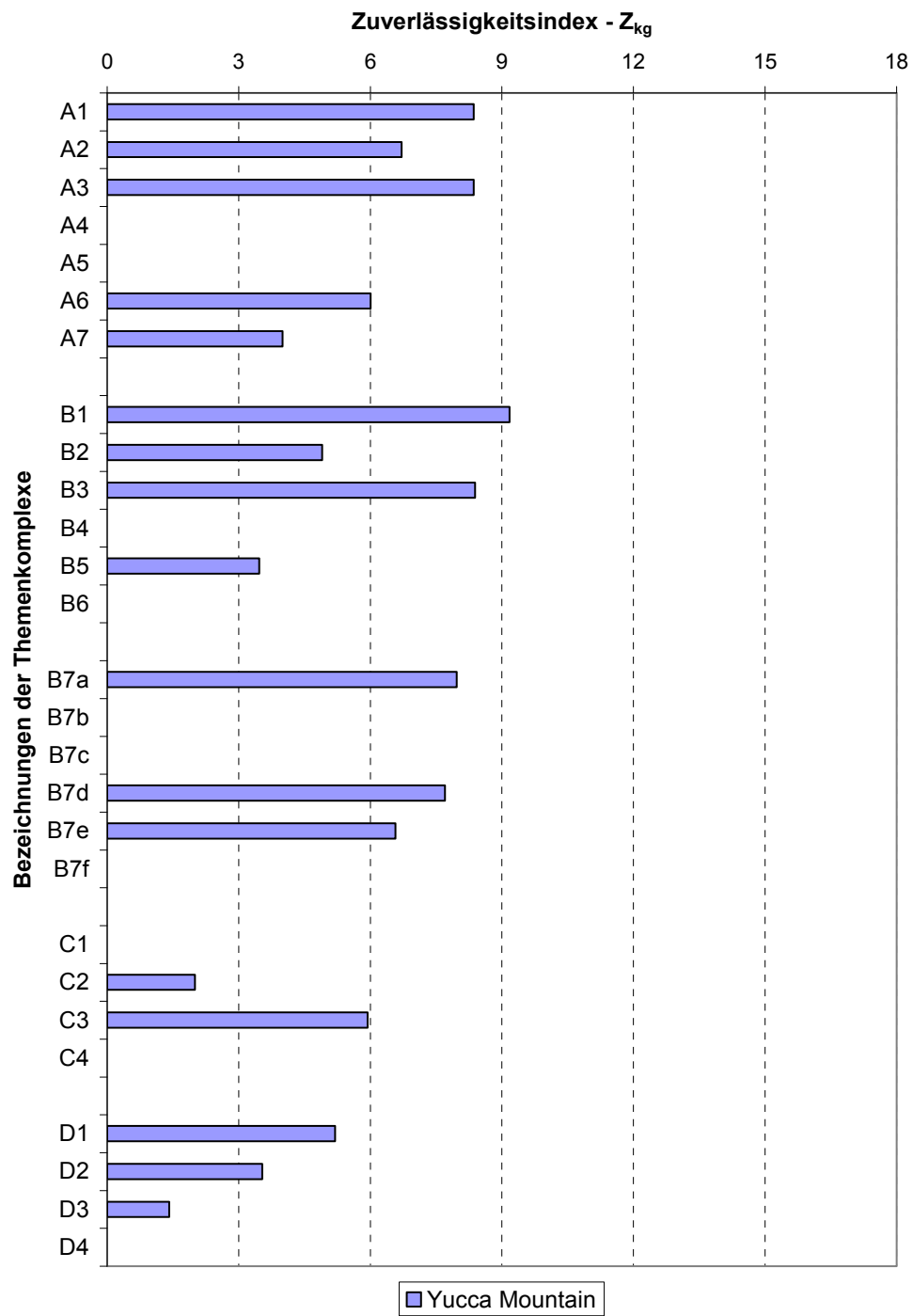


Abb. 3.2.2.5-1 Zuverlässigkeitsindizes: sonstige Gesteine (übertägig und untertägig) - Yucca Mountain/USA

4 ABLEITUNG VON ERKUNDUNGSMAßNAHMEN FÜR DEUTSCHLAND

4.1 Einleitung

Bei der Auswahl von Endlagerstandorten muss die erforderliche "günstige geologische Gesamtsituation" mittels geeigneter Erkundungsmethoden gezielt nachgewiesen werden. Die zur Beurteilung der geologischen Gesamtsituation erforderlichen Informationen wurden im vorherigen Kapitel unter „Inhalte der Themenkomplexe“ definiert (siehe Anhang 18). Bei der Bewertung der gesammelten Informationen aus den verschiedenen internationalen Erkundungen wurden keine Hinweise gefunden, dass die dort verwendeten Erkundungsmethoden nicht auf die entsprechenden geologischen Formationen in Deutschland übertragbar sind.

Für die Bewertung eines Standortes (Langzeitsicherheitsnachweis) ist es Bedingung, dass die sicherheitsbezogenen Anforderungen des Wirtsgesteinskörpers bzw. des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches erfüllt sind. Auf dieser Basis erfolgt im Weiteren eine Typisierung der vier festgelegten geologischen Formationen (Salzgesteine, Tone und Tonsteine, Kristallin sowie sonstige Gesteine unter Tonbedeckung) anhand bestimmter Definitionen und Unterscheidungselemente, die auf spezifischen Merkmalen der Gesteinstypen des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches bzw. der Konfiguration von einschlusswirksamem Gebirgsbereich und Wirtsgestein beruhen.

Es ist generell auch die Untersuchung der Nebengesteine sowie des Deckgebirges (in der vorliegenden Stellungnahme zum Zweck der Bearbeitung gemeinsam als Rahmengesteine bezeichnet) von Bedeutung, zumal diese als potenzielle zusätzliche geologische Barriere dienen können (vgl. insbesondere sonstige Gesteine unter Tonbedeckung bzw. Kristallin mit einer mächtigen Bedeckung).

Ausgehend von diesen Definitionen lassen sich spezifische Erkundungsmaßnahmen ableiten. Anzumerken ist, dass neben lokalen Gesichtspunkten (z.B. Formationsgeometrie, Tiefenlage) vor allem wirtsgesteinsspezifische Unterschiede, z.B. bezüglich der mechanischen und hydraulischen Eigenschaften, die Anforderung an die Erkundungsverfahren bestimmen.

4.2 Standortszenarien

4.2.1 Allgemeine Einschränkungen

Bei der Definition der im Schritt 4 bzw. 5 des vom AkEnd vorgeschlagenen Endlagerauswahlverfahrens zu erkundenden potenziellen Standortregionen bzw. Standorte wird gefordert, dass die im Verfahren definierten Ausschlusskriterien nicht zutreffen bzw. die Mindestanforderungen erfüllt sind.

Einschränkungen der Charakteristika der zu betrachtenden Standortregionen (Schritt 4) bzw. Standorte (Schritt 5) ergeben sich aus den vom AkEnd vorgegebenen geometrischen Bedingungen. Die wesentlichen Faktoren können wie folgt zusammengefasst werden:

- Es ist eine Mindestmächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches von 100 m zu gewährleisten, wobei die Teufe der Oberfläche des erforderlichen einschlusswirksamen Gebirgsbereiches mindestens 300 m betragen muss. Somit darf die Unterkante des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches nicht weniger als 400 m unter der Erdoberfläche liegen.
- Das Endlagerbergwerk darf nicht tiefer als 1.500 m liegen. (Hinweis: Die unter Berücksichtigung der Standfestigkeit praktisch erreichbare Tiefengrenze für Tonsteine ist wahrscheinlich geringer.)
- Für die Errichtung eines Endlagers muss die minimale flächenhafte Ausdehnung der betreffenden Gesteinskörper 10 km² (bzw. 3 km² im Salzgestein) betragen. Die tatsächlichen Größen der zu erkundenden Flächen hängen deshalb sowohl vom Wirtsgestein als auch von den lokalen geologischen Gegebenheiten ab.

4.2.2 Salzgesteine

4.2.2.1 Definition

Die Definition der im Folgenden betrachteten Salzgesteine erfolgt gemäß GOLDER ASSOCIATES (2006) - Auszug: *Bei den in Frage kommenden Salzgesteinen handelt es sich um Evaporitabfolgen (Steinsalz mit > 90% NaCl, Anhydrit, Kalisalze, Salztone) mit einem Steinsalzanteil von > 90%. Für den einschlusswirksamen Bereich muss die generelle lithologische/stratigraphische Abfolge die Erfüllung der Mindestanforderungen AkEnd erlauben, welche eine Mächtigkeit > 100 m und eine horizontale Ausdehnung von > 3 km² Salzgestein vorsieht.*

4.2.2.2 Standortsszenarien

Steinsalz weist aufgrund seiner stofflichen und strukturellen Homogenität (> 90% NaCl) gegenüber den anderen Gesteinen einige Besonderheiten auf, die sowohl bei der Errichtung des Endlagers als auch bei der Nachweisführung der Langzeitsicherheit entsprechend zu berücksichtigen sind.

Es besitzt die geringste Gebirgsdurchlässigkeit und ist unter intrinsischen Bedingungen als undurchlässig gegenüber Fluiden, wie z.B. Gasen oder Salzlösungen, anzusehen. Hinzu kommt, dass in der vorgesehenen Endlagertiefe die durch Errichtung des Endlagers durch Spannungsumlagerung entstandenen Wegsamkeiten in der Umgebung offener Hohlräume nach deren Verfüllung und nach Verschließen des Endlagers aufgrund des visko-plastischen Verhaltens von Steinsalz langfristig wieder geschlossen werden. In der Konsequenz sind keine lokalen hydraulischen Wegsamkeiten zu erwarten.

Daraus folgt gleichzeitig, dass innerhalb des Salzgesteins die hydrochemischen Gesichtspunkte weniger wichtig im Vergleich mit anderen Parametern sind. Bei zutretenden Lösungen handelt es sich in der Regel um primäre Restlösungen und Prozesse wie Sorption oder Diffusion sind praktisch bedeutungslos.

Hinsichtlich einer Hohlraumerstellung liegen aufgrund der langjährigen konventionellen untertägigen Salzgewinnung umfangreiche bergtechnische Erfahrungen vor, wobei das Gebirge auch in Teufen über 1.000 m standsicher ist und in der Regel auf einen technischen Ausbau verzichtet werden kann. Insofern spielt eine Bewertung hinsichtlich der bautechnischen Machbarkeit bei einer Erkundung nur eine nachgeordnete Rolle.

Nach dem wissenschaftlichen Kenntnisstand über die geologischen Rahmenbedingungen der Entstehung hinreichend mächtiger Salzablagerungen und den Erfahrungen aus der ausgedehnten bergbaulichen Nutzung sind in Deutschland Salzvorkommen, die den Vorgaben des AkEnd entsprechen, vorhanden. Sie entstanden unter ariden Klimabedingungen, wie sie erdgeschichtlich in Mitteleuropa vor allem in Zeitabschnitten des Perm, des Mesozoikum und Tertiär vorherrschten. Am weitesten verbreitet sind die Salzgesteine des Zechstein (Oberperm). Es handelt sich dabei um zyklische Abfolgen aus Tonen, Karbonaten, Sulfaten und Chloriden, wobei sieben Hauptzyklen (z1 bis z7) unterschieden werden können.

Nachdem das Salz entsprechend der jeweiligen sedimentären Beckensituation in unterschiedlicher Mächtigkeit und Erstreckung primär flach abgelagert wurde, hat es abgesehen von diagenetischen Prozessen im Laufe der Erdgeschichte regional unterschiedlich eine z.T. erhebli-

che Veränderung erfahren. Aufgrund der visko-plastischen Eigenschaften von Steinsalz können bei ausreichender Mächtigkeit und ausreichendem Gebirgsdruck durch überlagernde Sedimentgesteine sowie möglicherweise ausgelöst oder begleitet durch tektonische Vorgänge halokinetische Prozesse auftreten, infolgedessen kommt es zur Entstehung von Salzakkumulations- und Salzabwanderungszonen und damit zur Erhöhung bzw. Reduzierung der Ausgangsmächtigkeit.

In der Konsequenz müssen bei der Erkundung vereinfachend zumindest zwei Konfigurationen unterschieden werden.

- **Salzgesteine in flacher Lagerung**

Die in Mitteldeutschland dominierenden Salzgesteine des Zechstein sind zumeist in größerer lateraler Erstreckung flach gelagert und spiegeln damit - abgesehen von diagenetisch bedingten Veränderungen - weitgehend die sedimentationsbedingten Lagerungsverhältnisse wider. Die vertikale Mächtigkeit beträgt regional unterschiedlich bis zu mehreren 100 m. Die laterale Erstreckung ist häufig, abhängig von der lokalen tektonischen Situation, kleinräumigen Schwankungen (z.B. Anhydritklippen) unterworfen und kann zu den Randbereichen hin, z.B. durch sekundäre Ablaugungsprozesse im Bereich des Salzhangs, deutlich abnehmen.

- **Salzgesteine in steiler Lagerung**

Infolge halokinetischer Prozesse liegen die Salzvorkommen im Norden Deutschlands in Form von Salzkissen, Salzstöcken und Salzmauern vor. Die flächige Ausdehnung dieser Salzgesteinskörper variiert, wobei insbesondere der Internbau mit stratigraphisch und lithologisch unterschiedlichen Salzgesteinen aufgrund der halokinetischen Prozesse sehr komplex sein kann. Der Wurzelbereich dieser Salzstrukturen liegt teilweise mehr als 4.000 m tief [BALDSCHUHN et al. (1996)].

4.2.3 Tone und Tonsteine

4.2.3.1 Definition

Die Definition der im Folgenden betrachteten, für ein Endlager in Frage kommenden Tone und Tonsteine erfolgt gemäß GOLDER ASSOCIATES (2006) - Auszug: *Bei Tonen, die in Frage kommen, handelt es sich um klastische Lockergesteine gemäß FÜCHTBAUER (1988), die zu mindestens 50% des Feststoffes eine Korngröße kleiner 2 µm aufweisen sowie Tonminerale enthalten. Tonstein ist verfestigter Ton. Die im vorliegenden betrachteten Formationen schließen Tonsteine, Schluffsteine wie auch Tonmergelsteine ein.*

4.2.3.2 StandortszENARIO

Tongesteinsformationen kommen in Deutschland sowohl in unterschiedlichen stratigraphischen Niveaus als auch geographischen Regionen vor. Unter Berücksichtigung der Tiefe und Mächtigkeit lassen sich Tongesteine für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in relevanter Lage im Tertiär, in der Kreide und im Jura sowohl in Nord- als auch in Süddeutschland ausweisen [BGR (2007)].

Es folgt ein Auszug aus BGR (2007): *Das Konzept der Endlagerung in tiefen geologischen Formationen setzt generell eine ausreichende Festigkeit für die Erstellung und Offenhaltung der untertägigen Strecken voraus. In Tongesteinen kann die Standsicherheit der Strecken nur mit Ausbaumaßnahmen erreicht werden. Bei unverfestigten Tonen sind diese Maßnahmen besonders aufwändig und kostspielig. Daher werden hier nur verfestigte Tongesteine in die Betrachtung einbezogen.*

Anmerkung: Aus geotechnischer Sicht ist eine Unterscheidung von plastischen und verfestigten Tonsteinen kaum möglich, d.h. es fehlt ein objektives geomechanisches Kriterium für eine entsprechende Differenzierung, wobei die Eigenschaften innerhalb einer Tonformation tiefenabhängig und lokationsspezifisch unterschiedlich sein können (abhängig von der erzielten paläogeographischen Versenkungstiefe). Beispielsweise sind die phänomenologischen Verformungseigenschaften der Tonformationen aus Bure/Frankreich (verfestigter Tonstein) und Mol/Belgien (plastischer Tonstein) bezüglich der Ausbildung einer Auflockerungszone im Nahbereich von Hohlräumen sehr ähnlich, während in Mont Terri/Schweiz (verfestigter Tonstein) infolge des dort vorherrschenden anisotropen Spannungsfeldes deutlich andere Phänomene beobachtet werden.

Das entsprechende StandortszENARIO für das Wirtsgestein Ton/Tonstein ist ein Endlager in einer Teufe von nicht weniger als 350 m bis zu einem Maximum von etwa 1.000 m unter der Geländeoberfläche. Oberhalb des Wirtsgesteins sind eventuell andere Sedimentgesteine bzw. Lockergesteine abgelagert.

4.2.4 Kristallin

4.2.4.1 Definition

Die Definition des im Folgenden betrachteten Kristallins erfolgt gemäß GOLDBERG ASSOCIATES (2006) - Auszug: *Kristalline Gesteine im Sinne der vorliegenden Bearbeitung sind Gesteine, die aus kristallisiertem Material bestehen. Die Kristallisation erfolgt während der Abkühlung geschmolzener Materialien oder durch Metamorphose. Die hier betrachteten*

kristallinen Gesteine umfassen magmatische (Intrusiva und Effusiva) und metamorphe Gesteine, wobei letztere regionalmetamorph (z.B. Phyllite, Glimmerschiefer, Gneis, Granulite) sowie kontaktmetamorph entstanden sein können.

4.2.4.2 Standortsszenarien

Kristalline Gesteine kommen in Deutschland unter geringer (gebietsweise auch fehlender) Bedeckung bzw. unter mächtiger Bedeckung vor. Eine mächtige Bedeckung könnte in Abhängigkeit ihrer Ausbildung, z.B. beim Vorhandensein einer Tonbarriere, eine zusätzliche sicherheitsrelevante Wirkung aufweisen. Da diese zwei Bedeckungsbedingungen erkundungstechnisch unterschiedlich sind, wurden zwei entsprechende Standortsszenarien festgelegt:

- Ein Endlager in einer Teufe von nicht weniger als 350 m bis zu einem Maximum von 1.500 m unter der Geländeoberfläche im Kristallin mit einer geringen (eventuell gebietsweise auch ohne) Bedeckung von Sedimentgesteinen bzw. Lockergesteinen
- Ein Endlager in einer Teufe von nicht weniger als 350 m bis zu einem Maximum von 1.500 m unter der Geländeoberfläche im Kristallin mit einer mächtigen Bedeckung (einige hundert Meter) von Sediment- bzw. Lockergesteinen

Anmerkung: Ungestörte Kristallingesteine sind generell sehr gering durchlässig. Als Folge tektonischer Beanspruchung kommen in diesen Gesteinen jedoch häufig Störungs- und Kluftzonen vor, welche bevorzugte Wasserfließwege darstellen. Daneben können auch lithologische Inhomogenitäten (Ganggesteine, Mineral- und Erzadern) erhöhte Wasserwegsamkeiten bewirken.

4.2.5 Sonstige Gesteine unter Tonbedeckung

4.2.5.1 Definition

Die Definition der im Folgenden betrachteten sonstigen Gesteine unter Tonbedeckung erfolgt gemäß GOLDER ASSOCIATES (2006) - Auszug: *Die sonstigen Gesteine unter Tonbedeckung (Tondefinition siehe Abs. 2.2.3.1) schließen prinzipiell alle Gesteine ein, die keinen wesentlichen hydraulischen Anschluss an Aquifere oberhalb der Tonbarriere haben. Die betrachteten sonstigen Gesteine umfassen z.B. Kalksteine, Mergelsteine, Tonschiefer, stark zementierte Sandsteine sowie Quarzite. Salzgesteine, Tonsteine sowie kristalline Gesteine sind nicht Gegenstand der Betrachtung, sie werden in den entsprechenden Berichtsabschnitten abgehandelt.*

4.2.5.2 Standortszenarien

Das Standortszenario ist ein Endlager in einem sonstigen Festgestein in einer Teufe von nicht weniger als 350 m bis zu einem Maximum von 1.500 m unter der Geländeoberfläche. Oberhalb des Wirtsgesteins lagern andere Sedimentgesteine bzw. Lockergesteine, die eine Tonschicht einschließen. Der einschlusswirksame Teil dieser Tonschicht hat eine Mächtigkeit von mindestens 100 m und liegt mindestens 300 m unterhalb der Geländeoberfläche.

4.3 Übertragbarkeit der internationalen Erfahrungen

4.3.1 Informationseinschränkungen

Der Umfang der im Kapitel 3 bewerteten Informationen, welche für die Ziele des Vorhabens relevant sind, ergibt sich auf Basis der Arbeiten an den jeweiligen internationalen Standorten, wobei die zur Verfügung stehenden Daten nicht vollständig sind. Die Ursachen der unvollständigen bzw. fehlenden Abdeckung der Informationserfordernisse sind in den folgenden Abschnitten zusammengefasst.

Infolge der vorgenannten Informationslücken ist nur eine eingeschränkte direkte Übertragbarkeit der internationalen Erfahrung bei den Ableitungen von Erkundungen für Schritt 4 bzw. 5 im Sinne des AkEnd gegeben.

4.3.1.1 Formationsbezogene Informationseinschränkungen

- Der einzige umfassend für die Endlagerung untersuchte internationale Standort in einer Salzformation ist die WIPP/USA, wobei hier - als dem einzigen Beispiel internationaler Projekte - das Genehmigungsverfahren aufgrund der vorliegenden geowissenschaftlichen Informationen erfolgreich durchgeführt wurde. Allerdings ist anzumerken, dass es sich hierbei um eine Salzformation in flacher Lagerung handelt, die sich insbesondere aufgrund ihrer lithologischen Ausbildung mit schichtartigen Anhydriteinschaltungen deutlich von in Deutschland in Frage kommenden Salzformationen unterscheidet.
- Für Salzgesteine in steiler Lagerung, d.h. für eine Salzstockerkundung, liegt kein vergleichbarer internationaler Standort vor. Erfahrungen aus älteren Erkundungsprogrammen, d.h. insbesondere aus Dänemark aus den 1980er Jahren, mussten als nicht relevant betrachtet werden, da diese in einem frühen Stadium abgebrochen wurden.

- Für den Fall „sonstige Gesteine unter Tonbedeckung“, der als geologische Situation dem deutschen Standort Endlager Konrad entspricht, liegt kein äquivalenter internationaler Standort vor.

4.3.1.2 Verfahrensbezogene Informationseinschränkungen

- Für Tone und Tonsteine ist die untertägige Erkundung (Schritt 5) an zwei Standorten (Mol/Belgien, Bure/Frankreich) noch nicht abgeschlossen - die Informationen sind daher noch unvollständig.
- Der Umfang der durchgeführten Untersuchungen hängt wesentlich davon ab, ob bereits ein aufzufahrendes Endlager charakterisiert oder für eine Formation in einer bestimmten Region, wie beispielsweise Benken/Schweiz oder Bure/Frankreich, mittels generischer Untersuchungen die grundsätzliche Eignung einer in Frage kommenden Gesteinsformation geklärt werden soll. Nur bei Standorten im Kristallin liegen Beispiele für die Phase der übertägigen Erkundungen (Schritt 4) vor, die einem dem Vorschlag des AkEnd vergleichbaren Standortauswahlverfahren unterliegen (Oskarshamn/Schweden bzw. Forsmark/Schweden). Dieser Zustand führte zu einem erhöhten Abdeckungsgrad der einzelnen definierten Inhalte der Themenkomplexe (siehe Abs. 3.2.3.4) in den durchgeführten Erkundungen.
- Die Anforderungen für eine Erkundung (z.B. für den Nachweis des notwendigen Flächenbedarfs) hängen wesentlich vom jeweiligen nationalen Einlagerungskonzept (z.B. Rückholbarkeit) und Abfallaufkommen (z.B. Aktivität bzw. Temperaturentwicklung der Einlagerungsgebände) ab.

4.3.2 Darstellungs- und Bewertungsmethodik

Die für die internationalen Erkundungen verwendete Darstellungs- und Bewertungsmethodik ist auf die Ableitung von Erkundungsmethoden für Schritt 4 bzw. 5 des vom AkEnd vorgeschlagenen Auswahlverfahrens ohne Einschränkung übertragbar. Es wird darauf hingewiesen, dass der hier zum numerischen Vergleich der abgeleiteten Erkundungen verwendete Zuverlässigkeitsindex als ein Indikator des Erkundungsaufwandes zu verstehen ist. Bei lithologisch und stratigraphisch vergleichbaren Formationen werden Ergebnisse mit höherer Zuverlässigkeit nur durch zusätzliche Erkundungen bzw. durch Erkundungsmaßnahmen in höheren Qualitäts- bzw. Quantitätskategorien erreicht.

4.4 Ableitungsvorgang

Auf Basis der bewerteten internationalen Informationen (siehe Kap. 3) sowie des Expertenwissens der Bearbeiter des Forschungsvorhabens wurden generische Erkundungen (die anzuwendenden Maßnahmen sowie deren jeweiliger Umfang) für die vier Formationen bzw. sechs Standortsszenarien abgeleitet. Grundlage bildeten die folgenden Festlegungen:

- Die Schwerpunkte der Erkundungsmaßnahmen sind darauf ausgerichtet, dass die Durchführung eines Langzeitsicherheitsnachweises - der letztlich die Eignung eines Standortes für die Errichtung eines Endlagers belegt - und die Überprüfung einer praktischen Realisierbarkeit des Endlagers möglich werden. Dazu gehören:
 - Exploration der geologischen Situation:
 - Bestätigung der ausreichenden lateralen und vertikalen Ausdehnung des Wirtsgesteins bzw. Deckgebirges (räumliche Verbreitung)
 - Lokalisierung von Störungszonen
 - Nachweis der geforderten Barriereigenschaften der jeweiligen Schutzschicht (z.B. Homogenität, hydraulische Eigenschaften, Absorptionseigenschaften)
 - Nachweis der bautechnischen Machbarkeit der Hohlraumerstellung unter den standortspezifischen Gegebenheiten
- Erkundungsmaßnahmen, die Ergebnisse von guter Qualität liefern, sind im Allgemeinen zu bevorzugen. Die ausgewählten Maßnahmen entsprechen dem jeweiligen Stand von Wissenschaft und Technik.
- Die dem Schritt 5 zuzuordnenden Erkundungsmaßnahmen sind ausschließlich diejenigen, die untertägig durchzuführen sind.

Die Ableitung der Anforderungen an die Erkundungsmaßnahmen erfolgte schrittweise - wie unten dargestellt - und die entsprechenden Ergebnisse für die jeweiligen Formationen bzw. Szenarien sind in den Anhängen 9 bis 14 dokumentiert:

- (1) Die zur Bestimmung der jeweiligen Inhalte der Themenkomplexe für erforderlich gehaltenen Erkundungsmaßnahmen wurden definiert und in entsprechende numerische Qualitäts- und Quantitätskategorien (1 bis 3) eingestuft. Die Grundlage der Einstufung von Erkundungsmaßnahmen in Qualitäts- bzw. Quantitätskategorien ist in Anhang 4 dargestellt.

- (2) Die Erkundungsmaßnahmen wurden in eine Maßnahmendatei mit den entsprechenden Qualitäts- und Quantitätskategorien bezüglich der Inhalte der Themenkomplexe aufgelistet sowie in eine Übersichtstabelle eingetragen.
- (3) Anschließend wurden die Zuverlässigkeitsindizes für die einzelnen Inhalte der Themenkomplexe berechnet (siehe Abs. 3.2.1) und grafisch dargestellt. Zum Vergleich werden die vorhandenen internationalen Ergebnisse als Orientierungswerte in den grafischen Darstellungen den vorgeschlagenen Erkundungen gegenübergestellt. Aufgrund der Unterscheidung zwischen übertägigen und untertägigen Erkundungsmethoden können die Maßnahmen bezüglich des unterschiedlichen Standes gemäß Schritt 4 bzw. einer Kombination der Schritte 4 + 5 dargestellt werden.

Bei einer ausreichenden Anzahl von internationalen Standorten für jeden Gesteinstyp bzw. Erkundungsschritt wäre die Verwendung von statistischen Methoden zur Vorbereitung einer Orientierungsbasis möglich, so dass z.B. die Festlegung von mindestens zu erreichenden Zuverlässigkeitswerten gegeben wäre. Dies ist jedoch aufgrund der geringen Standortanzahl für die jeweiligen Gesteine nicht umsetzbar.

Es wird auch als nicht gerechtfertigt angesehen, Vergleichsdaten zwischen verschiedenen Gesteinen zu übertragen, da die Wertigkeit der einzelnen Inhalte der Themenkomplexe gesteinsbezogen sehr verschieden sein kann. Beim Kristallin sind insbesondere infolge der zu meist vorliegenden tektonischen Zergliederung und Deformationen die standortbezogenen Eigenschaften von Wegsamkeiten von überwiegender Bedeutung, während davon auszugehen ist, dass diese im Salzgestein nicht auftreten. Im Gegensatz sind dort die stoffbezogenen Eigenschaften des Wirtsgesteins (z.B. lithologische Homogenität) zu berücksichtigen. Ähnliche Unterschiede bzw. spezifische Vor- und Nachteile ergeben sich auch beim wechselseitigen Vergleich der anderen Wirtsgesteine.

Aufgrund der oben diskutierten Einschränkung wurden zum orientierenden Vergleich mit den berechneten Zuverlässigkeitsindizes für die abgeleiteten Erkundungen spezifische, internationale Standorte einbezogen. Dies sind:

- Salzgesteine in flacher Lagerung (Schritte 4 + 5) - WIPP/USA
- Tone und Tonsteine (Schritt 4) - Benken/Schweiz und Wellenberg/Schweiz (Mittelwerte)
- Tone und Tonsteine (Schritte 4 + 5) - Bure/Frankreich und Mol/Belgien (Mittelwerte)
- Kristallin (Schritt 4) - Forsmark/Schweden und Oskarshamn/Schweden (Mittelwerte)
- Kristallin (Schritte 4 + 5) - Whiteshell/Kanada

Für die Salzgesteine wurde Scanzano Jonico/Italien wegen der sehr spärlichen Abdeckung der einzelnen Inhalte der Themenkomplexe bei der Festlegung der Orientierungswerte nicht berücksichtigt. Es steht kein Vergleichsstandort für Salzgesteine in steiler Lagerung zur Verfügung. Da Sellafield/England, Bataapati/Ungarn sowie Onkalo/Finnland im Gegensatz zu Forsmark/Schweden und Oskarshamn/Schweden keinem expliziten Auswahlverfahren im Sinne des AkEnd unterliegen, wurden sie bei der Festlegung der Orientierungswerte für das Kristallin nicht berücksichtigt. Es steht auch kein Vergleichsstandort für sonstige Gesteine unter Tonbedeckung zur Verfügung.

Zusammenfassende Darstellungen der für die einzelnen Inhalte der Themenkomplexe vorhandenen Orientierungswerte zum jeweiligen Zuverlässigkeitsindex sind in der Tabelle 4.4-1 sowie in den Abbildungen 4.4-1 für Erkundungsschritt 4 bzw. 4.4-2 für die Schritte 4 + 5 enthalten.

Im Sinne künftiger Erkundungsvorbereitungen wird darauf hingewiesen, dass bei der Planung für reale Standorte einige relevante Informationen schon vorhanden sein könnten. Dieser Zustand würde dann zu den folgenden standortspezifischen Schritten führen:

- Sichtung und Analyse aller vorhandenen Daten
- Zusammenstellung aller durch Neumessung zu gewinnenden Informationen

Zur Definition der Einzelheiten einer Erkundung für einen realen Standort gehört auch die Erarbeitung der zeitlichen Abfolge der vorgesehenen Erkundungsmaßnahmen. Die o.g. Bearbeitungsschritte waren nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit, haben aber Einfluss auf den Aufwand für die Erkundung.

Tabelle 4.4-1 Ableitungen der Orientierungswerte

Inhalte der Themenkomplexe	Salzgesteine		Tone /Tonsteine				Kristallin						Sonstige Gesteine	Mittelwert 4+5	Mittelwert 4	Orientierungswerte																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	Scanzano Jonico	WIPP	Benken	Wellenberg	Bure	Mol	Oskarshamn	Forsmark	Sellafield	Bataapati	Onkalo	Whiteshell	Yucca Mountain								Ton/Tonstein	Ton/Tonstein	Kristallin																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	Regionale Geologie (20 km*20 km)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Wirtsgestein / Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel) A1	kA	2,0	2,8	1,4	3,8	6,4	7,5	2,8	8,3	5,5	11,7	9,0	8,4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							

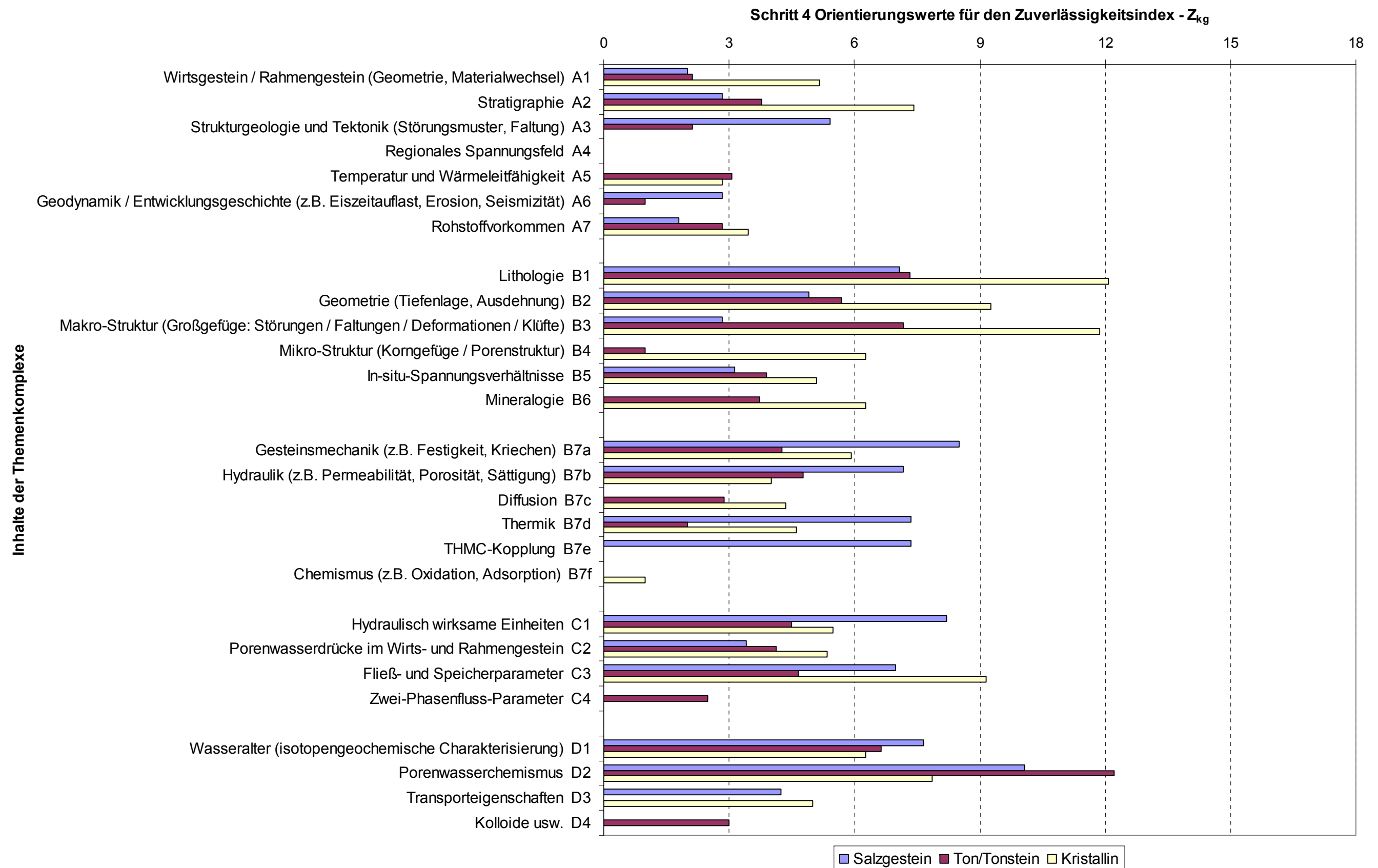


Abb. 4.4-1 Vorhandene Orientierungswerte Schritt 4

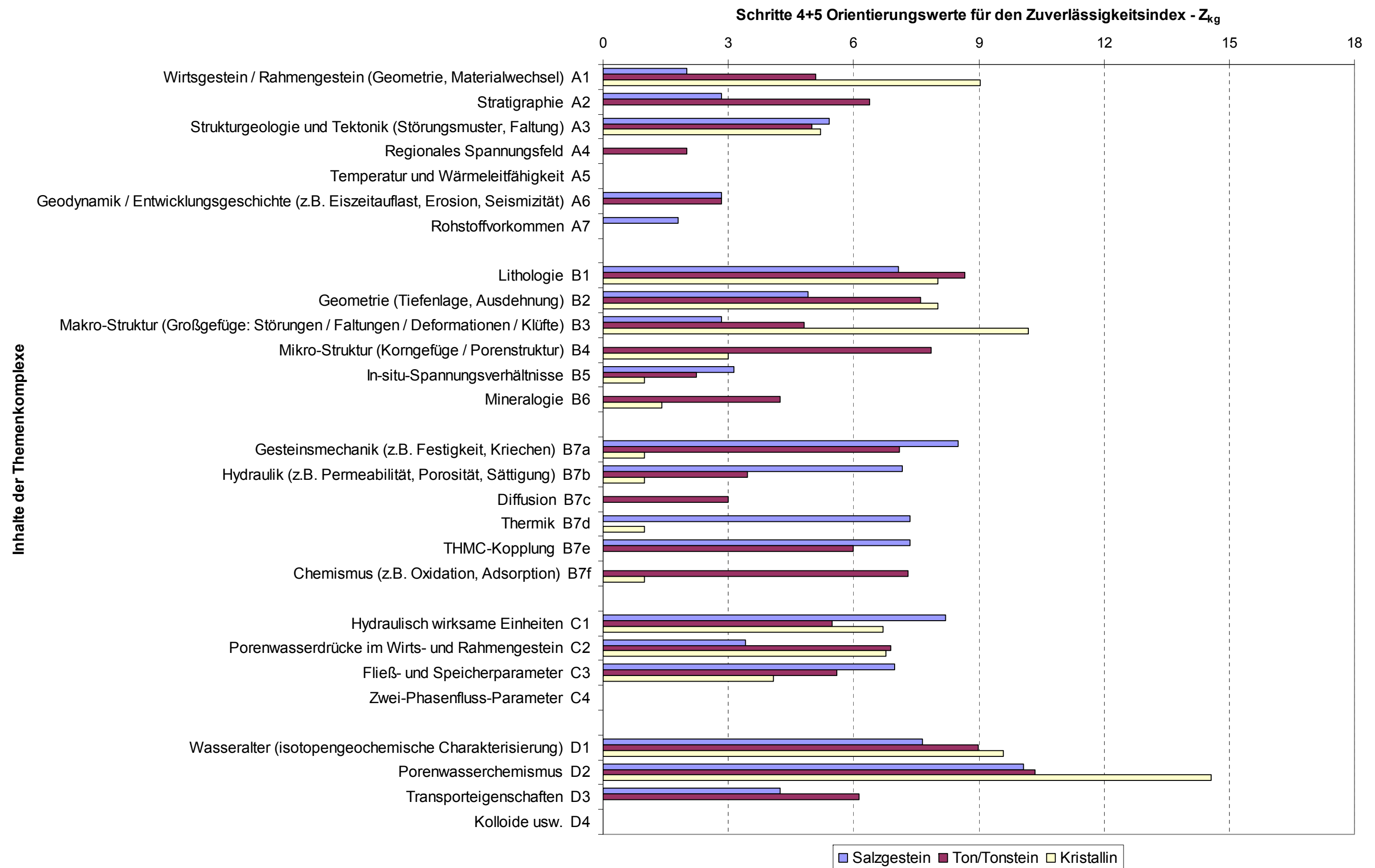


Abb. 4.3.2-2 Vorhandene Orientierungswerte Schritte 4 + 5

4.5 Abgeleitete Erkundungen

4.5.1 Salzgesteine

Die Ergebnisse der Ableitung für Salzgesteine in flacher Lagerung befinden sich im Anhang 9 bzw. Anhang 10 für Salzgesteine in steiler Lagerung.

Zur besseren Vergleichbarkeit sind die berechneten Zuverlässigkeitsindizes der verschiedenen Themenkomplexe für Salzgesteine in flacher bzw. steiler Lagerung (jeweils für Schritt 4 bzw. Schritte 4 + 5) sowie als Orientierungswerte für die Schritte 4 + 5 Ergebnisse aus der Bewertung der Erkundungsmaßnahmen WIPP/USA in Abb. 4.5.1-1 zusammengefasst dargestellt. Orientierungswerte stehen nur für die flache Lagerung zur Verfügung.

Es wird deutlich, dass die für die abgeleiteten Erkundungsmaßnahmen berechneten Zuverlässigkeitsindizes zumeist deutlich höher sind, als die für die WIPP/USA durchgeführten Maßnahmen. Dies betrifft insbesondere die Themenkomplexe für die regionale Geologie (A-Themenkomplexe) sowie in geringer ausgeprägtem Maße die Eigenschaften des Wirtsgesteins und der Rahmengesteine am Standort (B-Themenkomplexe). Ursächlich hierfür ist mutmaßlich, dass bei der WIPP/USA aufgrund der ausgedehnten Salzformation kein umfangreiches Programm für eine optimale Standortsuche durchgeführt werden musste. Gleichzeitig sind die aufgrund der vorliegenden Mächtigkeit der Wirtsgesteinsformation abzuprüfenden Anforderungen zur Bewertung der Rahmengesteine ebenfalls geringer.

Hingegen entspricht der Aufwand für die petrophysikalische Gesteinscharakterisierung (B7), die auf umfangreichen In-situ-Untersuchungen basiert, sehr wohl den hier abgeleiteten Anforderungen und ist z.T. sogar höher bewertet worden (B7a).

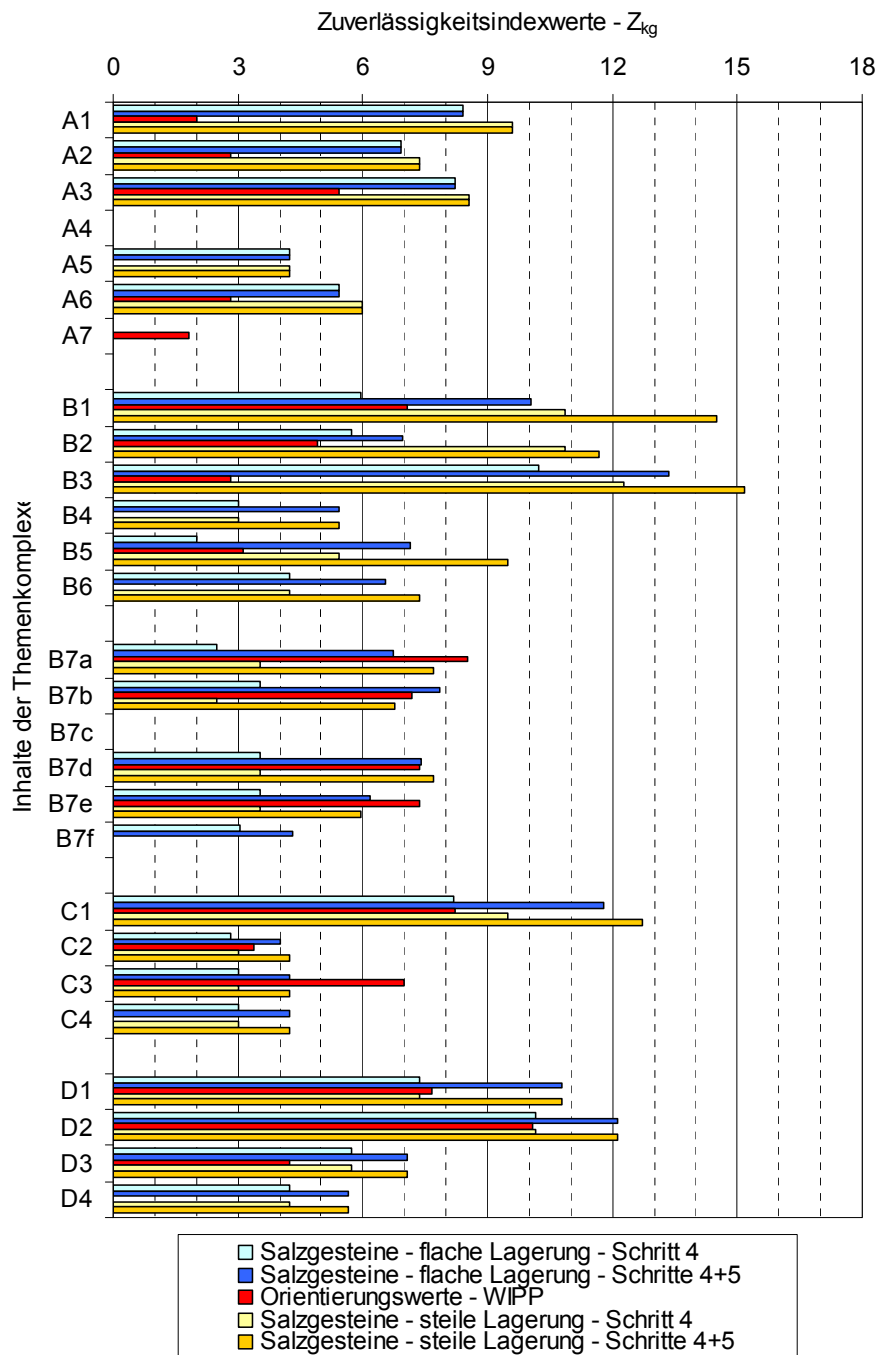


Abb. 4.5.1-1 Zuverlässigkeitsindizes der verschiedenen Themenkomplexe für Salzgesteine in flacher bzw. steiler Lagerung (jeweils für Schritt 4 bzw. 4 + 5) sowie als Orientierungswerte für die Schritte 4 + 5 von der Bewertung der Erkundungsmaßnahmen der WIPP/USA

Vergleicht man die Anforderungen für Schritt 4 mit denen der Schritte 4 + 5, dann wird deutlich, dass in Abhängigkeit des Themenkomplexes die Zuverlässigkeitsindizes entsprechend den jeweiligen Zielsetzungen und Auflösungsvermögen variieren. Insbesondere die geologischen Rahmenbedingungen werden im regionalen Maßstab mit den übertägigen Erkundungsmaßnahmen hinreichend abgedeckt.

Im Gegensatz dazu erfordert die Charakterisierung der standortspezifischen Eigenschaften, d.h. der hydraulisch/mechanischen Parameter des Wirtsgesteins Salz, als Basis eines Nachweises der Integrität des Endlagers, umfassenden Zugang zum Wirtsgestein. Als Folge der verbesserten Aufschlussverhältnisse untertage kommt es vor allem im Themenbereich B7 zu der aus Sicht des Langzeitsicherheitsnachweises notwendigen Verbesserung des Kenntnisstandes. In der Abbildung 4.5.1-1 ist für B7a, B7b, B7c sowie B7e etwa eine Verdoppelung der Zuverlässigkeitsindizes zwischen Schritt 4 und Schritte 4 + 5 ersichtlich. Bei den übrigen Themenkomplexen bewegt sich die Zunahme zwischen 20% und 30%. Bezüglich der hydrochemischen Charakterisierung im Zusammenhang mit dem Punkt „hohe Löslichkeit bei Lösungszutritt von außen“ ist insbesondere der Nachweis gefordert, dass es sich um Restlösungen² handelt. Anderenfalls wäre eine Integrität der Salzbarriere nicht gegeben.

Der Vergleich der Salzgesteine in flacher bzw. steiler Lagerung belegt erwartungsgemäß, dass bei der Standorterkundung der Erkundungsaufwand in der flachen Lagerung signifikant niedriger liegt als in der steilen Lagerung (vgl. Themenkomplexe B1 - B6 in der Abbildung 4.5.1-1). Dies resultiert aus der generell günstigeren Charakterisier- und Explorierbarkeit flach gelagerter Wirtsgesteinsinformationen infolge der einfacheren struktureologischen Situation. Bei den C- und D-Themenkomplexen sind diese Unterschiede nicht so deutlich.

Unabhängig davon sind die Unterschiede zwischen den zwei Konfigurationen, insbesondere unter Einbeziehung der Orientierungswerte von der WIPP/USA, die auf Basis eines genehmigten Endlagers bestimmt wurden, von untergeordneter Bedeutung.

² Chemisch umgewandelte Lösungen aus der Periode der Salzablagerung

4.5.2 Tone und Tonsteine

Die Ergebnisse der Ableitung befinden sich im Anhang 11. Orientierungswerte stehen für den Schritt 4 auf der Basis von Benken/Schweiz und Wellenberg/Schweiz sowie für die Schritte 4 + 5 auf der Basis von Bure/Frankreich und Mol/Belgien zur Verfügung. Eine zusammenfassende Darstellung zeigt die Abbildung 4.5.2-1.

Die Orientierungswerte der Zuverlässigkeitsindizes für den Schritt 4 bzw. die Schritte 4 + 5 sind im Vergleich mit den Kennwerten der Ableitungen zumeist signifikant niedriger, zumindest in den Themenkomplexen A und B. Gründe hierfür dürften für Schritt 4 der Abbruch der Erkundung in Wellenberg/Schweiz bzw. die eingeschränkten Zielvorgaben der Erkundung in Benken/Schweiz sein. Bei den Schritten 4 + 5 sind diesbezüglich die noch laufenden Erkundungen an den Standorten Bure/Frankreich und Mol/Belgien zu erwähnen. Höhere Orientierungswerte kommen vereinzelt bei den Themenkomplexen B7f sowie in C und D vor, die mutmaßlich aus der Streuung von Einzeluntersuchungen resultieren.

Charakteristisch für den Vergleich zwischen den Schritten 4 und 4 + 5 ist, dass die daraus resultierenden Zuverlässigkeitsindizes für die Themenkomplexe A unverändert bleiben (kein weiterer Informationsgewinn), aber bei allen anderen Themenkomplexen generell rund 40% höher liegen. Dies resultiert, analog zu den Feststellungen bei den Salzgesteinen, in erster Linie aus der mit der untertägigen Erkundung insgesamt verbesserten Aufschlussmöglichkeit bezüglich Qualität und Quantität der zu erkundenden Parameter.

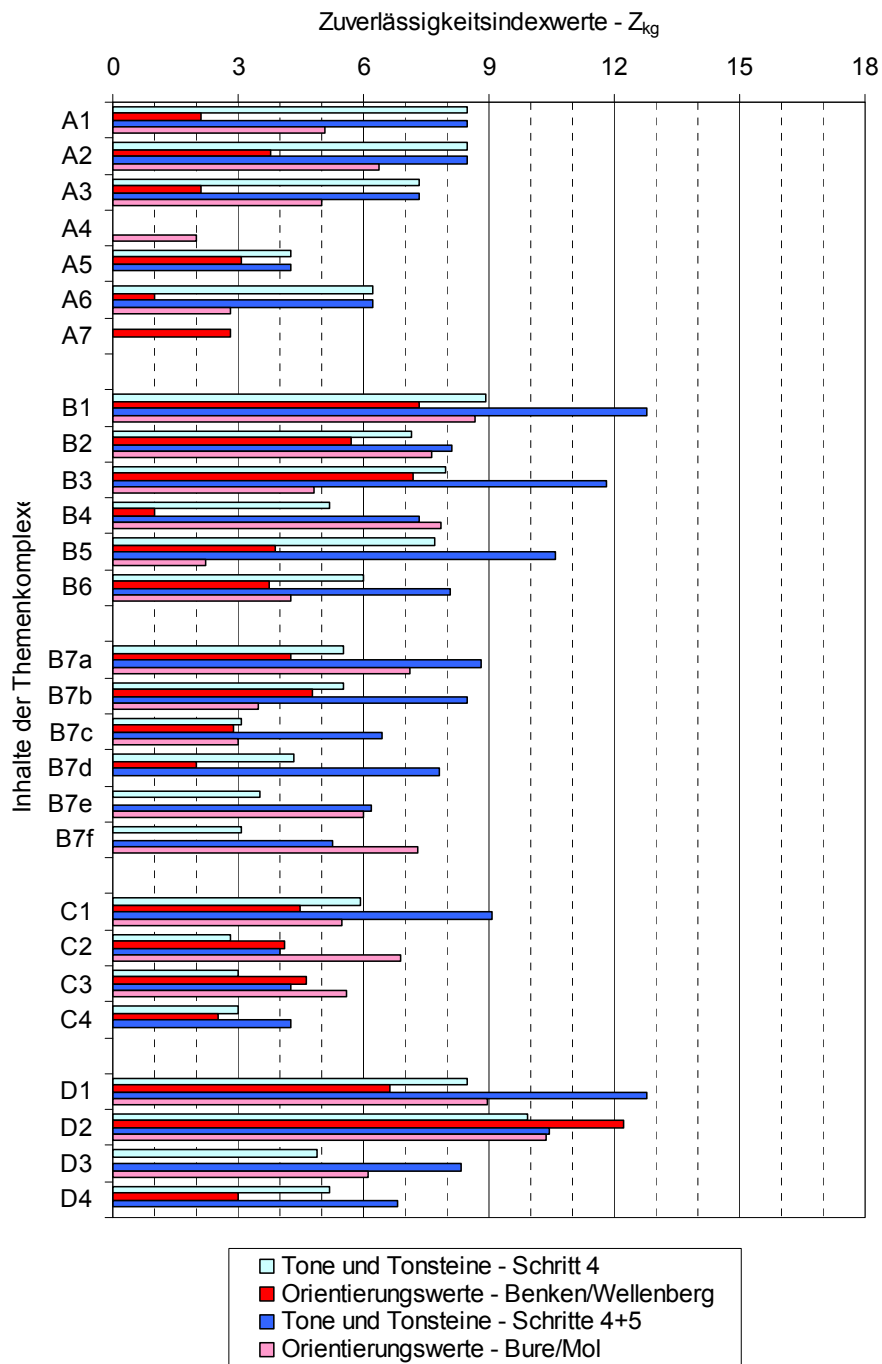


Abb. 4.5.2-1 Zuverlässigkeitsindizes der verschiedenen Themenkomplexe für Tone und Tonsteine (jeweils für Schritt 4 bzw. 4 + 5) sowie die entsprechenden Orientierungswerte auf Basis verschiedener Standorte

4.5.3 Kristallin

Die Ergebnisse der Ableitung befinden sich im Anhang 12 für eine geringe Bedeckung sowie im Anhang 13 für eine mächtige Bedeckung. Orientierungswerte stehen für den Schritt 4 auf der Basis von Forsmark/Schweden und Oskarshamn/Schweden sowie für die Schritte 4 + 5 auf der Basis von Whiteshell/Kanada zur Verfügung. Allerdings muss hierzu angemerkt werden, dass die Repräsentativität der Datenbasis für Whiteshell/Kanada aufgrund nicht zur Verfügung stehender Unterlagen eingeschränkt ist.

Wie die Abbildung 4.5.3-1 zeigt, fällt gegenüber den vorhergehenden Gesteinsgruppen auf, dass insbesondere die Orientierungswerte für den Schritt 4 zumeist höher liegen als die abgeleiteten Kennwerte. Dies resultiert in erster Linie daraus, dass die Referenzstandorte Forsmark/Schweden und Oskarshamn/Schweden vermutlich wegen des laufenden Auswahlverfahrens sehr gut charakterisiert und dokumentiert sind. Im Vergleich dazu sind die Orientierungswerte für Whiteshell/Kanada entsprechend den Schritten 4 + 5 zumeist niedriger oder fehlen ganz, was mutmaßlich aus der nicht ausreichend zur Verfügung stehenden Datenbasis resultiert.

Bezüglich der Wertigkeit der verschiedenen Themenkomplexe wird deutlich, dass insbesondere im Fall des Kristallins mit geringer Bedeckung bei den Themenkomplexen der regionalen Geologie (A) sowie B1 - B3 im Vergleich zu allen anderen Wirtsgesteinen sowohl für die Orientierungswerte als auch für die abgeleiteten Kenngrößen die relativ höchsten Zuverlässigkeitsindizes ausgewiesen werden. Dies resultiert aus den günstigen Aufschlussverhältnissen, dem besseren Auflösungsvermögen der geophysikalischen Verfahren bzw. der besseren Prognostizierbarkeit der Strukturgeologie.

Die Kennwerte der anderen Themenkomplexe sind für beide hier betrachteten Bedeckungskonfigurationen gleich.

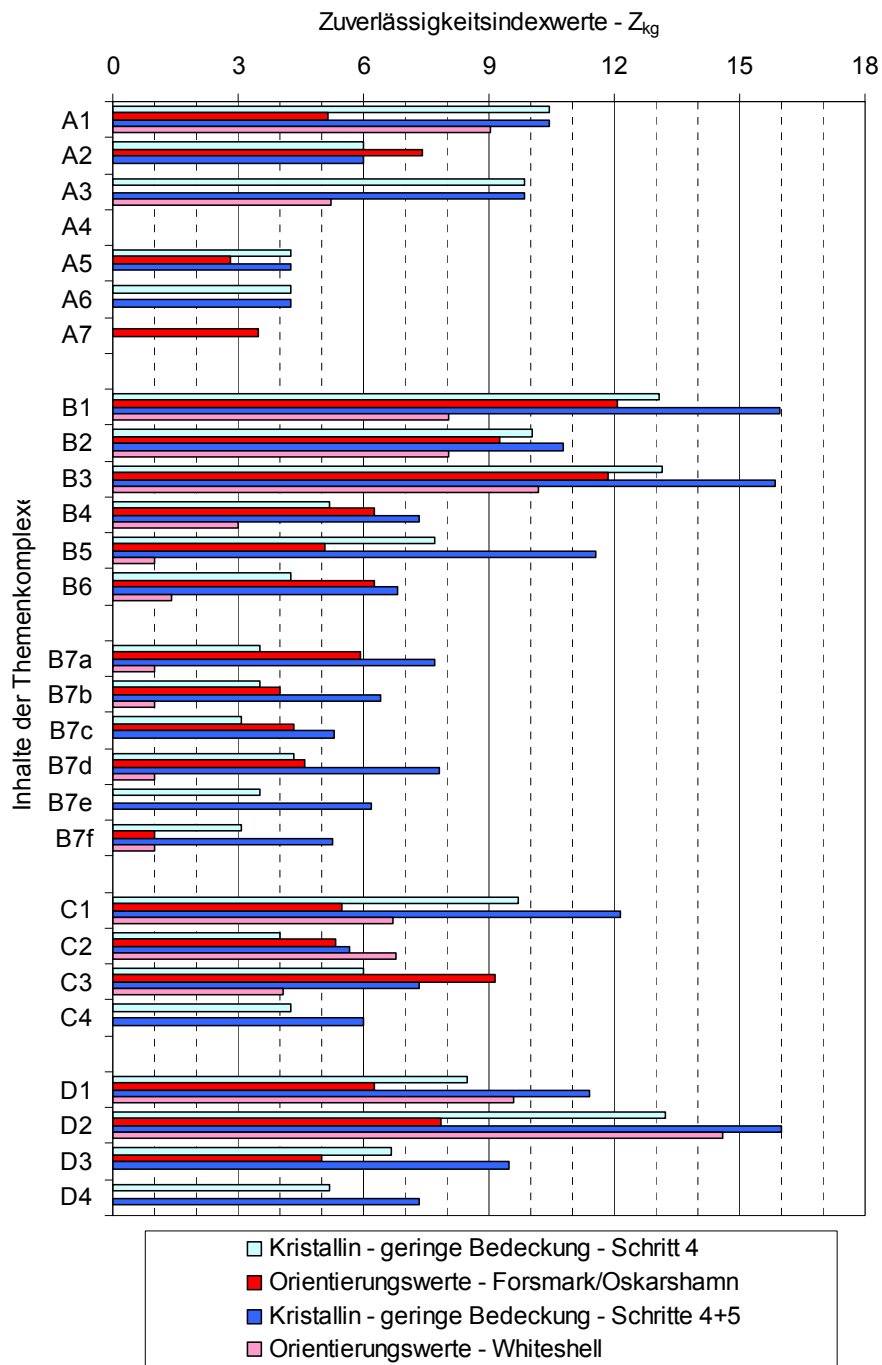


Abb. 4.5.3-1 Zuverlässigkeitsindizes der verschiedenen Themenkomplexe für Kristallinge-
steine unter geringer Bedeckung (jeweils für Schritt 4 bzw. 4 + 5) sowie die
entsprechenden Orientierungswerte auf Basis verschiedener Standorte

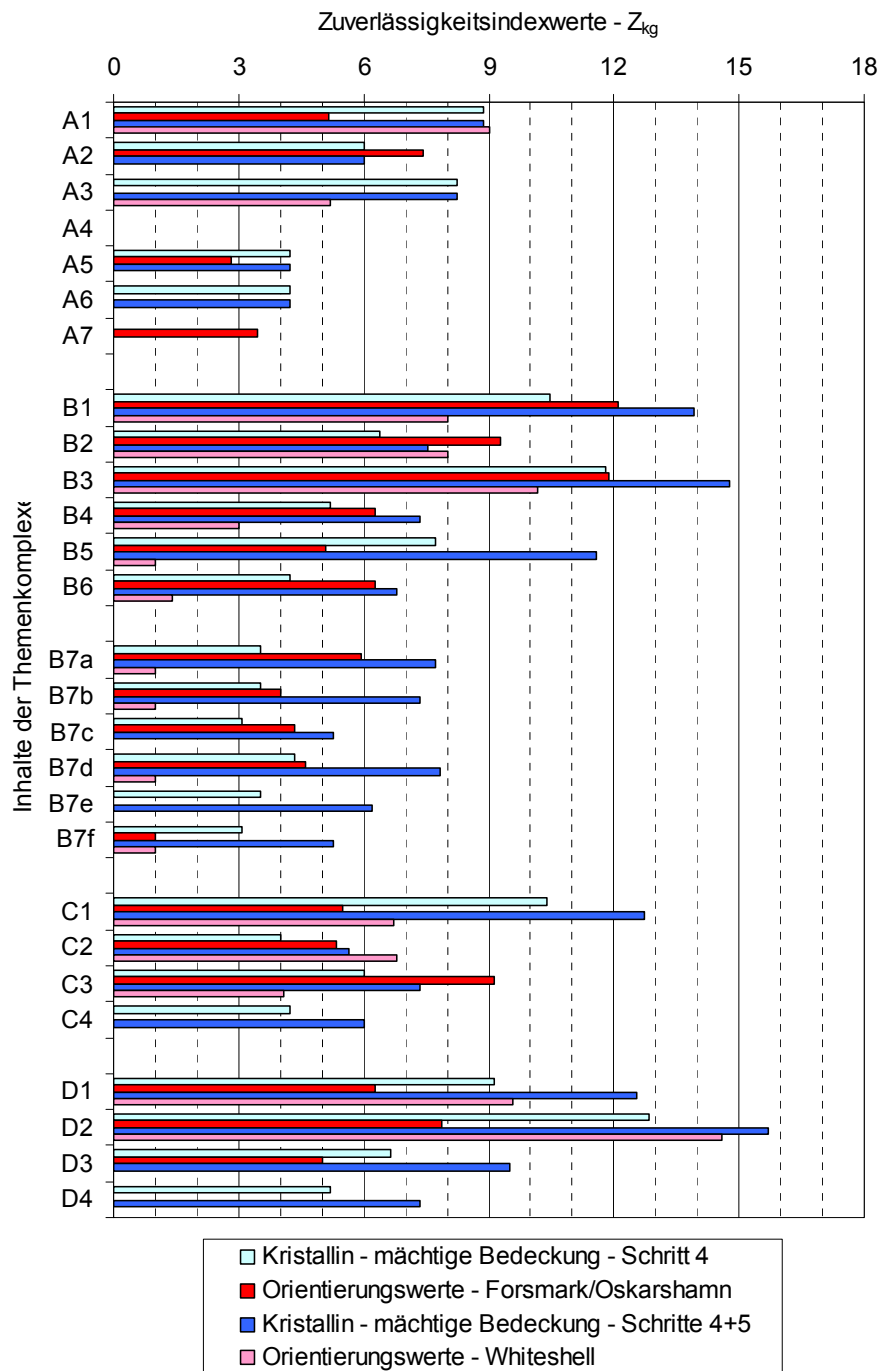


Abb. 4.5.3-2 Zuverlässigkeitsindizes der verschiedenen Themenkomplexe für Kristallinge-
steine unter mächtiger Bedeckung (jeweils für Schritt 4 bzw. 4 + 5) sowie die
entsprechenden Orientierungswerte auf Basis verschiedener Standorte

4.5.4 Sonstige Gesteine unter Tonbedeckung

Die Ergebnisse der Ableitung befinden sich im Anhang 14. Es stehen keine Orientierungswerte eines vergleichbaren Standortes zur Verfügung. Die Übersichtsdarstellung zeigt die Abbildung 4.5.4-1.

Qualitativ ergibt sich in einer ersten Bewertung eine große Ähnlichkeit mit den Datensätzen für Kristallin unter mächtiger Bedeckung. Allerdings wird von den Bearbeitern des Forschungsvorhabens eingeschätzt, dass aufgrund der besonderen geologischen Situation für die Führung des Langzeitsicherheitsnachweises die Erkundung der eigentlichen Wirtsformation gegenüber der Erkundung der Rahmengesteine, die letztlich die geologische Barriere bilden, von nachgeordneter Bedeutung ist. Im Rahmen der untertägigen Erkundung der Wirtsformation wird nur eine hinreichende laterale und vertikale Erstreckung für die Errichtung des Endlagers sowie dessen grundsätzliche Baufähigkeit (z.B. standsicheres Gebirge für die Erstellung der Hohlräume) geprüft. Darüber hinaus können die hydraulischen Eigenschaften (z.B. Porosität), wie im Fall Endlager Konrad, besondere Bedeutung für die Bewertung spezifischer Probleme haben (z.B. Gasproblematik infolge des Zutritts wässriger Lösungen als Auslöser der Korrosion von Abfallgebinden mit Gaspotenzial bzw. Gasspeichervermögen im Porenraum).

Bei der untertägigen Erkundung ist zu berücksichtigen, dass eine Erkundung der die geologische Barriere bildenden Rahmengesteine nur sehr eingeschränkt möglich ist (z.B. beim Auffahren der Schächte). Vor diesem Hintergrund sollten die barrierebildenden Rahmengesteine ein Schwerpunkt bei der übertägigen Erkundung, u.a. durch Bohrungen bzw. Seismik, sein. Dieser besondere Sachverhalt wird bei der Bewertung der ausgewiesenen Zuverlässigkeitsindizes der relevanten Themenkomplexe nicht unmittelbar deutlich, ist aber bei der Konzeption von Erkundungsmaßnahmen eines entsprechenden Standortes immer zu berücksichtigen.

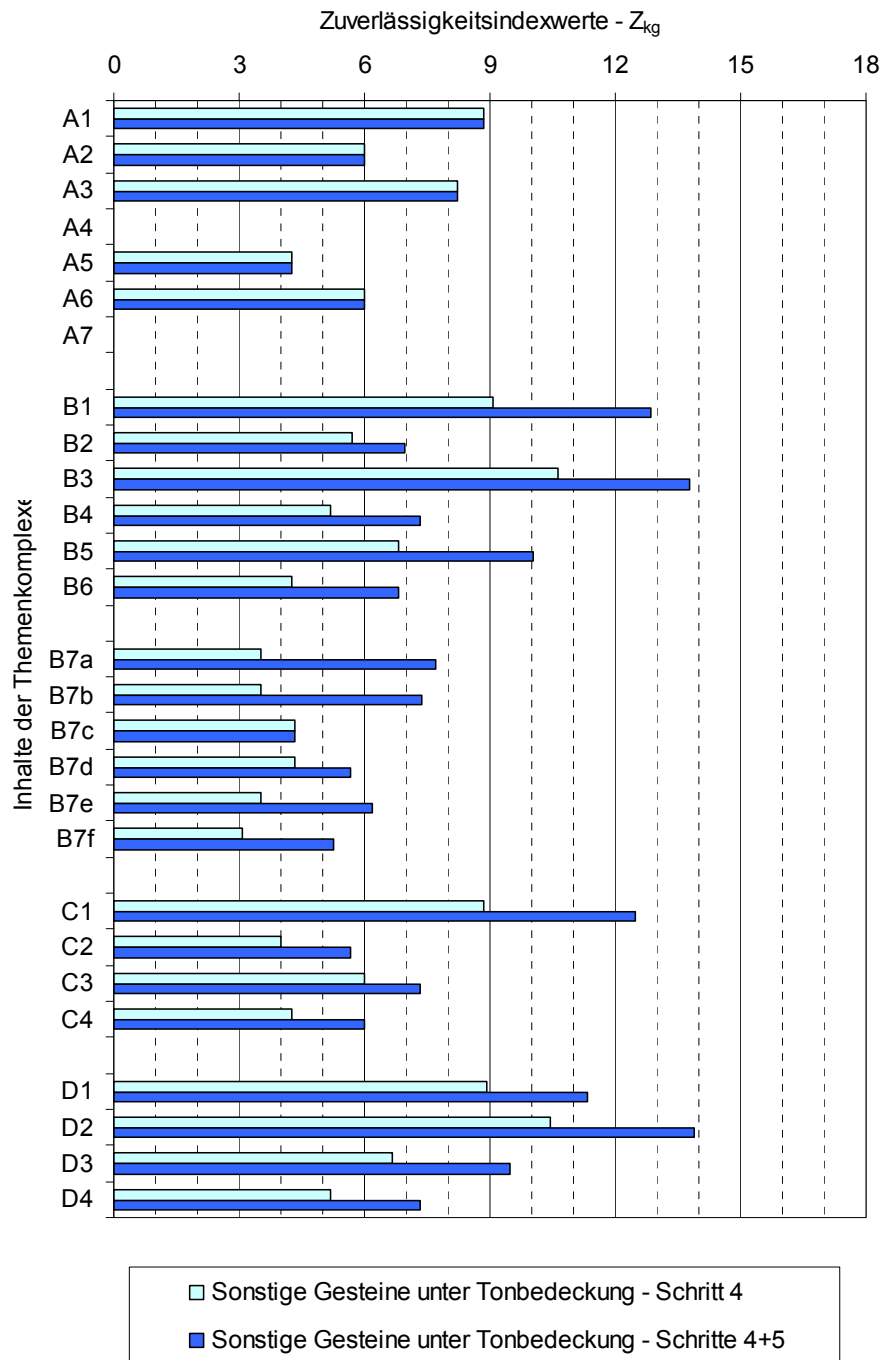


Abb. 4.5.4-1 Zuverlässigkeitsindizes der verschiedenen Themenkomplexe für sonstige Gesteine unter Tonbedeckung (jeweils für Schritt 4 bzw. 4 + 5)

5 VERGLEICH INTERNATIONALER ERKUNDUNGSANFORDERUNGEN MIT ERFAHRUNGEN AUS DEUTSCHLAND

5.1 Vorgang

5.1.1 Nationale Anforderungen

Es wurde vom Auftraggeber bestätigt, dass es zurzeit keine formellen nationalen Anforderungen im Sinne eines Regelwerkes zur Erkundung von Endlagerstandorten gibt. Damit entfällt ein ansonsten durchzuführender Vergleich dieser Anforderungen mit den in der vorliegenden Arbeit abgeleiteten Erkundungsmaßnahmen.

5.1.2 Auswahl der nationalen Standorte

Standorte, an denen in Deutschland über- und untertägige Erkundungsmaßnahmen für die Bewertung der Eignung für ein Endlager radioaktiver Abfälle durchgeführt wurden bzw. werden, sind:

- das Erkundungsbergwerk Gorleben
- das Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM)
- das Endlager Konrad

Das ehemalige Versuchsbergwerk Asse, in dem in einer Salzstruktur radioaktive Abfälle eingelagert wurden und das sich aktuell in der Schließungsphase befindet, wurde nicht einbezogen, da die erforderlichen Informationen Teil eines laufenden Genehmigungsverfahrens sind und deshalb im Rahmen der vorliegenden Bearbeitung nicht vollständig zur Verfügung standen.

Mit den Erkundungen der Standorte Gorleben und Morsleben liegen in Deutschland bereits Erfahrungen zur Untersuchung von Steinsalzformationen in steiler Lagerung vor. Der Standort des Endlagers Konrad kann in die Kategorie „sonstige Gesteine unter Tonabdeckung“ eingestuft werden.

5.1.3 Dateneinsichtnahme

Vom Auftraggeber wie auch aus anderen Quellen erhaltene Dokumente wurden eingesehen. Die entsprechend verwendeten standortbezogenen Informationen sind in den Anhängen 15 bis 17 aufgelistet.

5.1.4 Darstellung und Bewertung

Für den standortspezifischen Vergleich der durchgeführten Erkundungen in Deutschland mit den aus internationaler Erfahrung abgeleiteten Erkundungsmaßnahmen (siehe Kap. 4) wurde die vorhandene Darstellungs- und Bewertungsmethodik verwendet.

Die an einem Standort durchgeführten Erkundungsmaßnahmen wurden in einer Maßnahmen-datei mit den entsprechenden Quantitäts- und Qualitätskategorien (siehe Anhang 4) bezüglich der Inhalte der Themenkomplexe (siehe Anhang 18) aufgelistet sowie in eine Übersichtstabelle eingetragen. Anschließend wurden die Zuverlässigkeitsindizes (siehe Abs. 3.2.1) für jeden Inhalt der Themenkomplexe berechnet und grafisch dargestellt. Die standortbezogenen Informationen befinden sich in den Anhängen 15 bis 17.

5.2 Standortinformationen und -bewertungen

5.2.1 Erkundungsbergwerk Gorleben

5.2.1.1 Informationen

Der Salzstock Gorleben wird seit dem Jahr 1979 auf seine Eignung als Endlager für radioaktive Abfälle untersucht. Im Zeitraum von 1979 bis 1984 wurde ein umfangreiches Bohr- und Erkundungsprogramm mit Schwerpunkt der Erkundung der hydrogeologischen Verhältnisse und der Geologie der Deckschichten über dem Salzstock durchgeführt. Zur Erfassung des strukturellen Aufbaus wurde das Bohrprogramm durch geophysikalische Arbeiten (Seismik, Gravimetrie und Geoelektrik) ergänzt. Nach der Wiedervereinigung der beiden deutschen Staaten und Sichtung des regional bereits vorliegenden Kenntnisstandes für den an das Untersuchungsgebiet grenzenden Bereich der ehemaligen DDR wurde für den Teil nördlich der Elbe ein ergänzendes geologisch-hydrogeologisches Bohr- und Testprogramm initiiert, dessen Durchführung im Zeitraum von 1996 bis 1998 erfolgte.

Die Charakterisierung des internen Aufbaus des Salzstockes erfolgte zunächst von Übertage durch Tief- bzw. Salzspiegelbohrungen sowie seit 1986 als untertägige Erkundung mit der Auffahrung zweier Schächte und der Strecken für den Infrastrukturbereich und den Erkundungsbereich 1. Zum 01. Oktober 2000 wurden die noch unvollständigen Erkundungsarbeiten mit Inkrafttreten des Gorleben-Moratoriums unterbrochen.

5.2.1.2 Bewertung

Die Darstellungen bzw. die Bewertung der am Standort Gorleben durchgeführten Erkundungen befinden sich im Anhang 15. Bei der Darstellung der berechneten Indizes wurde zwischen Erkundungsmaßnahmen des vom AkEnd vorgeschlagenen Verfahrensschrittes 4 (übertägige) bzw. der Verfahrensschritte 4 + 5 (übertägige sowie untertägige) unterschieden. In der Abbildung 5.2.1.2-1 werden die für Gorleben berechneten Zuverlässigkeitsindizes der verschiedenen Themenkomplexe mit den abgeleiteten (siehe Abs. 4.5.1) Indexwerten für Salzgesteine in steiler Lagerung (für Verfahrensschritt 4) verglichen. In der Abbildung 5.2.1.2-2 erfolgt der Vergleich für die Verfahrensschritte 4 + 5 sowie zusätzlich mit den Orientierungswerten aus der Bewertung der durchgeführten Erkundungsmaßnahmen für WIPP/USA (siehe Abs. 3.2.3.2). In der Abbildung 5.2.1.2-3 sind als Belegungsraster die verschiedenen Themenkomplexe den jeweiligen Erkundungsmethoden gegenübergestellt, wobei die für den Standort Gorleben vorgenommenen Erkundungsmaßnahmen dunkelgrün sind und das Belegungsraaster der für Salzgesteine in steiler Lagerung abgeleiteten Erkundungsmaßnahmen rot umrandet ist.

Beim Vergleich der vorgenommenen Erkundungsmaßnahmen am Standort Gorleben mit den abgeleiteten Maßnahmen sollte berücksichtigt werden, dass die Erkundungen nicht im Rahmen eines Standortauswahlverfahrens nach der Vorstellung des AkEnd stattfanden. Dieser Fakt dürfte die generelle Unterschreitung der abgeleiteten Indexwerte durch die berechneten Werte für die vorgenommenen Erkundungsmaßnahmen erklären.

Ein weiterer Aspekt der Erkundungen am Standort Gorleben ist bei einem Vergleich zu berücksichtigen: Die untertägige Erkundung wurde infolge des Gorleben-Moratoriums unterbrochen. Als Folge liegen noch keine Ergebnisse aus In-situ-Großversuchen vor.

Es ist in der Abbildung 5.2.1.2-3 ersichtlich, dass im Vergleich mit den abgeleiteten Erkundungsmaßnahmen aufgrund der Unterbrechung einige untertägige Methoden (in situ sowie Labor) nicht belegt sind. Die Tatsache, dass die Erkundung nicht im Rahmen eines Standortauswahlverfahrens durchgeführt wurde, führte dazu, dass in allen drei Abbildungen einige Themenkomplexe (z.B. Spannungsverhältnisse oder THMC) nicht mit Erkundungsaktivitäten abgedeckt sind. Diese Themenkomplexe stehen nicht im direkten Zusammenhang mit der beabsichtigten Bewertung der Eignung des Salzstockes, wären aber eventuell für einen Langzeitsicherheitsnachweis für das Endlager zu berücksichtigen.

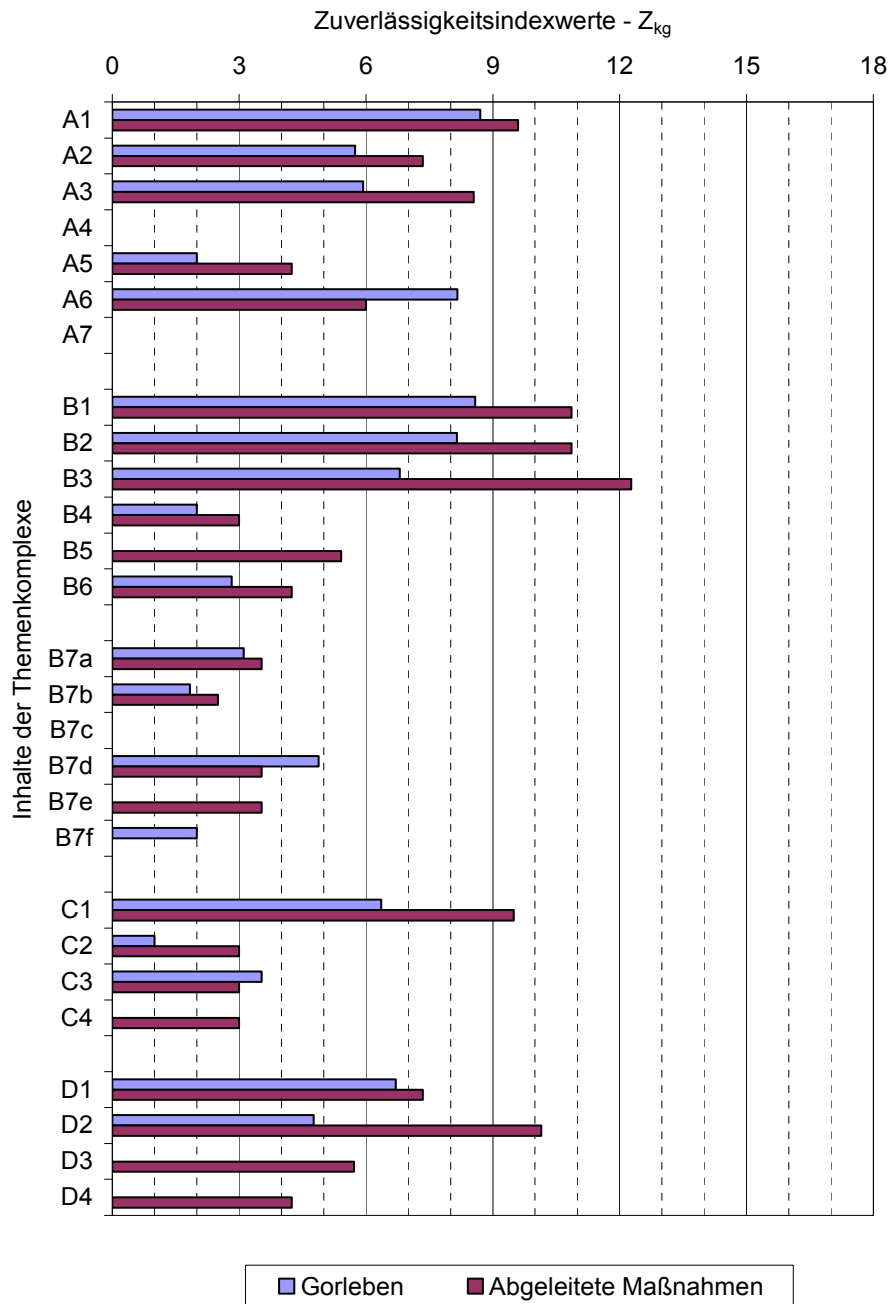


Abb. 5.2.1.2-1 Zuverlässigkeitsindizes der verschiedenen Themenkomplexe für Gorleben im Vergleich zu den Kennwerten der abgeleiteten Erkundungsmaßnahmen für Salzgesteine in steiler Lagerung (Schritt 4)

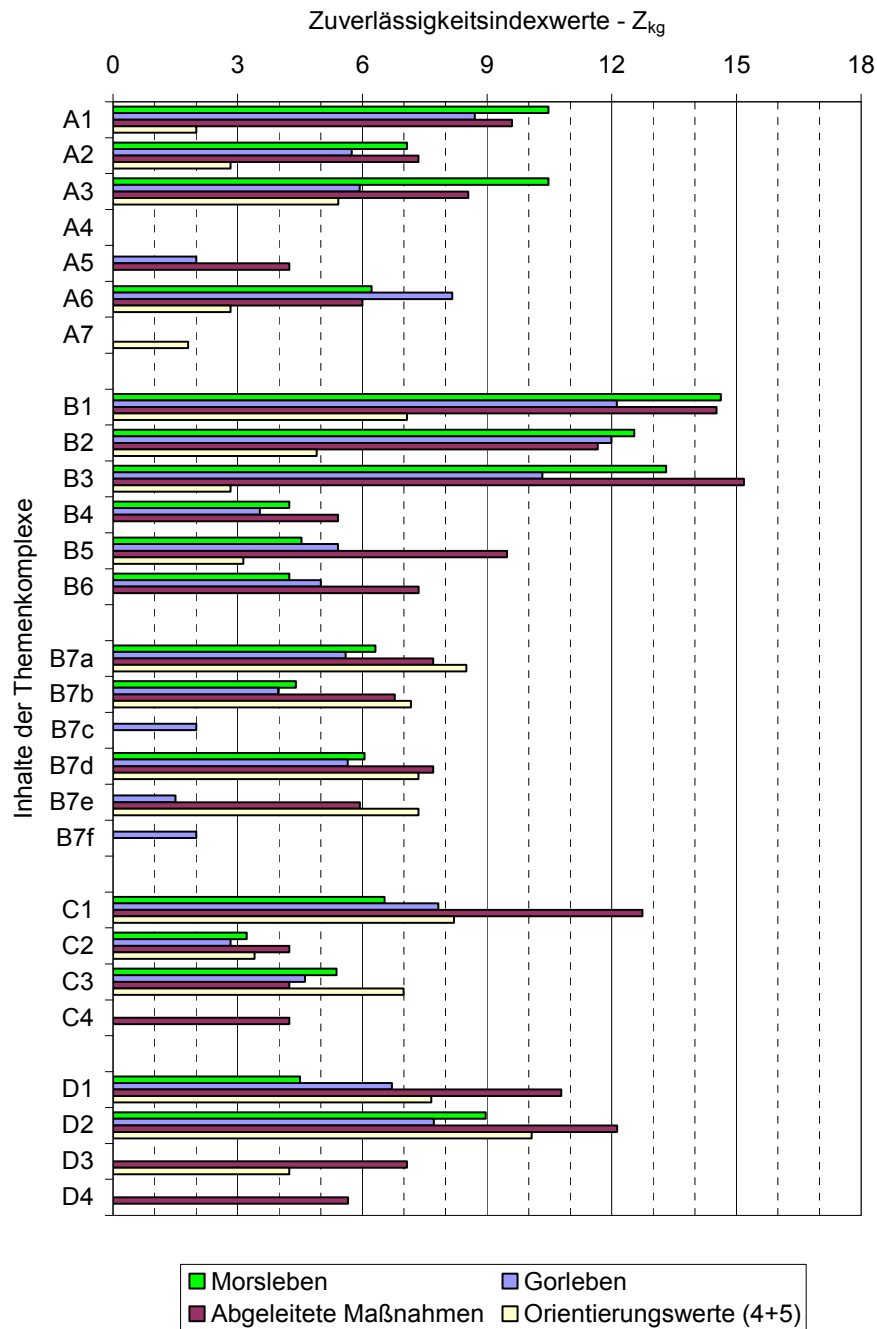


Abb. 5.2.1.2-2 Zuverlässigkeitsindizes der verschiedenen Themenkomplexe für Gorleben und Morsleben im Vergleich zu den Kennwerten der abgeleiteten Erkundungsmaßnahmen für Salzgesteine in steiler Lagerung (Schritte 4 + 5) sowie den Orientierungswerten aus der Bewertung der durchgeführten Erkundungsmaßnahmen für WIPP/USA

Gorleben	Erkundungs- methoden: 1-9 übertägig 10-14 untertägig	Fernerkundung	Geophysik (übertägig)	Geophysik (im Bohrloch)	Geol. Kartierung	Bohrungen	Feldmessungen - Geohydraulik	Feldmessungen - Geochemie	Feldmessungen - Geomechanik	Labor	Geophysik	geologische Kartierung	Bohrungen	In-situ- Messungen	Labor
Inhalte der Themenkomplexe	Bezeichnungen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Regionale Geologie (20 km*20 km)															
Wirtsgestein / Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)	A1														
Stratigraphie	A2														
Strukturgeologie und Tektonik (Störungsmuster, Faltung)	A3														
Regionales Spannungsfeld	A4														
Temperatur und Wärmeleitfähigkeit	A5														
Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z.B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)	A6														
Rohstoffvorkommen	A7														
Eigenschaften des Wirtsgesteins und der Rahmengesteine am Standort															
Lithologie	B1														
Geometrie (Tiefenlage, Ausdehnung)	B2														
Makro-Struktur (Großgefüge: Störungen / Faltungen / Deformationen / Klüfte)	B3														
Mikro-Struktur (Korngefüge / Porenstruktur)	B4														
In-situ-Spannungsverhältnisse	B5														
Mineralogie	B6														
Petrophysikalische Eigenschaften (Probenmaßstab):															
Gesteinsmechanik (z.B. Festigkeit, Kriechen)	B7a														
Hydraulik (z.B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)	B7b														
Diffusion	B7c														
Thermik	B7d														
THMC-Kopplung	B7e														
Chemismus (z.B. Oxidation, Adsorption)	B7f														
Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)															
Hydraulisch wirksame Einheiten	C1														
Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein	C2														
Fließ- und Speicherparameter	C3														
Zwei-Phasenfluss-Parameter	C4														
Hydrochemie															
Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)	D1														
Porenwasserchemismus	D2														
Transporteigenschaften	D3														
Kolloide usw.	D4														
durchgeführte Erkundungsaktivität															
abgeleitete Erkundungsaktivität															

durchgeführte Erkundungsaktivität

abgeleitete Erkundungsaktivität

Abb. 5.2.1.2-3 Belegung von Themenkomplexen mittels durchgeführter über- und untertägiger Erkundungsmethoden am Standort Gorleben im Vergleich zu den abgeleiteten Erkundungsmaßnahmen für Salzgesteine in steiler Lagerung

5.2.2 Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM)

5.2.2.1 Informationen

Nach Beendigung einer fast 100-jährigen Nutzungsperiode für die Stein- und Kalisalzgewinnung wurde das ehemalige Salzbergwerk Bartensleben nach einer vergleichenden Betrachtung mehrerer zur Verfügung stehender Bergwerke als Endlager in der DDR für die Einlagerung schwach bis mittel radioaktiver Abfälle ausgewählt. Nach Begutachtung bezüglich seiner Eignung sowie einer Testphase erfolgte 1986 die Genehmigung für eine Dauerinbetriebnahme, wobei bis zur Beendigung des Einlagerungsbetriebes im Jahr 1998 (einschließlich des Zeitraumes seit der Wiedervereinigung) rund 37.000 m³ an radioaktiven Abfällen in Morsleben eingelagert wurden.

Auf der Basis umfangreicher geowissenschaftlicher Untersuchungen der Salzstruktur im Allertal sowie des Deckgebirges in den 1990er Jahren hat das BfS im September 2005 die für die Öffentlichkeitsbeteiligung notwendigen Unterlagen für die Stilllegung (Planunterlagen) eingereicht.

5.2.2.2 Bewertung

Die Darstellungen bzw. die Bewertung der am Standort Morsleben durchgeführten Erkundungen befinden sich im Anhang 16. Bei der Darstellung der berechneten Indizes wurden die Verfahrensschritte 4 + 5 (übertägige sowie untertägige) betrachtet. Der Verfahrensschritt 4 allein entfällt wegen der Verwendung des vorhandenen untertägigen Hohlraumes. In der Abbildung 5.2.1.2-2 werden die für Morsleben berechneten Zuverlässigkeitsindizes der verschiedenen Themenkomplexe mit den abgeleiteten (siehe Abs. 4.5.1) Indexwerten für Salzgesteine in steiler Lagerung (für Verfahrensschritte 4 + 5) verglichen. In der Abbildung 5.2.1.2-2 erfolgt zusätzlich der Vergleich mit den Orientierungswerten aus der Bewertung der durchgeführten Erkundungsmaßnahmen für WIPP/USA (siehe Abs. 3.2.3.2). In der Abbildung 5.2.2.2-1 sind als Belegungsraaster die verschiedenen Themenkomplexe den jeweiligen Erkundungsmethoden gegenübergestellt, wobei die für den Standort Morsleben vorgenommenen Erkundungsmaßnahmen dunkelgrün sind und das Belegungsraaster der für Salzgesteine in steiler Lagerung abgeleiteten Erkundungsmaßnahmen rot umrandet ist.

Morsleben		Erkundungs- methoden: 1-9 übertägig 10-14 untertägig	Fernerkundung	Geophysik (übertägig)	Geophysik (im Bohrloch)	Geol. Kartierung	Bohrungen	Feldmessungen - Geohydraulik	Feldmessungen - Geochemie	Feldmessungen - Geomechanik	Labor	Geophysik	geologische Kartierung	Bohrungen	In-situ- Messungen	Labor
Inhalte der Themenkomplexe		Bezeichnungen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Regionale Geologie (20 km*20 km)																
Wirtsgestein / Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)	A1															
Stratigraphie	A2															
Strukturgeologie und Tektonik (Störungsmuster, Faltung)	A3															
Regionales Spannungsfeld	A4															
Temperatur und Wärmeleitfähigkeit	A5															
Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z.B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)	A6															
Rohstoffvorkommen	A7															
Eigenschaften des Wirtsgesteins und der Rahmengesteine am Standort																
Lithologie	B1															
Geometrie (Tiefenlage, Ausdehnung)	B2															
Makro-Struktur (Großgefüge: Störungen / Faltungen / Deformationen / Klüfte)	B3															
Mikro-Struktur (Korngefüge / Porenstruktur)	B4															
In-situ-Spannungsverhältnisse	B5															
Mineralogie	B6															
Petrophysikalische Eigenschaften (Probenmaßstab):																
Gesteinsmechanik (z.B. Festigkeit, Kriechen)	B7a															
Hydraulik (z.B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)	B7b															
Diffusion	B7c															
Thermik	B7d															
THMC-Kopplung	B7e															
Chemismus (z.B. Oxidation, Adsorption)	B7f															
Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)																
Hydraulisch wirksame Einheiten	C1															
Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein	C2															
Fließ- und Speicherparameter	C3															
Zwei-Phasenfluss-Parameter	C4															
Hydrochemie																
Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)	D1															
Porenwasserchemismus	D2															
Transporteigenschaften	D3															
Kolloide usw.	D4															

durchgeführte Erkundungsaktivität

abgeleitete Erkundungsaktivität

durchgeführte Erkundungsaktivität

abgeleitete Erkundungsaktivität

Abb. 5.2.2.2-1 Belegung von Themenkomplexen mittels durchgeführter über- und untertägiger Erkundungsmethoden am Standort Morsleben im Vergleich zu den abgeleiteten Erkundungsmaßnahmen für Salzgesteine in steiler Lagerung

In Morsleben standen infolge der ehemaligen bergbaulichen Nutzung mit umfangreichen Hohlräumen ungewöhnlich gute Aufschlussverhältnisse zur Verfügung. Auch der Umstand der detaillierten Standorterkundung eines bereits betriebenen Endlagers ist beim Vergleich mit den abgeleiteten Erkundungsmaßnahmen zu berücksichtigen. Das erklärt vermutlich die in der Abbildung 5.2.1.2-2 ersichtlichen, allgemein höheren Indexwerte für den Standort Morsleben als für Gorleben. Für einige Themenkomplexe überschreiten die Indexwerte für die vorgenommenen Erkundungsmaßnahmen am Standort Morsleben sogar die entsprechenden, im Rahmen des Forschungsvorhabens, abgeleiteten Werte.

Wie im Fall Gorleben ist die fehlende Abdeckung einiger Themenkomplexe bei der Erkundung (siehe Abbildungen 5.2.1.2-2 und 5.2.2.2-1) auffällig. Eine Erklärung dafür ist vermutlich die vorherrschende Ansicht bei der Erkundungsplanung, dass im dichten Salzgebirge mit einem vollständigen Einschluss der Abfälle diese Themenkomplexe keinen wesentlichen Einfluss auf die Langzeitsicherheit haben würden.

5.2.3 Endlager Konrad

5.2.3.1 Informationen

Das zwischen 850 und 1.200 m Teufe abgebaute Erzlager wird durch zwei Schächte erschlossen. Nach Einstellung der Erzförderung wurde die Schachtanlage wegen ihrer für ein Erzbergwerk außergewöhnlichen Trockenheit sowie der als sehr günstig eingeschätzten geologischen Situation mit überlagernden Tonformationen auf ihre grundsätzliche Eignung zur Aufnahme von radioaktiven Abfällen untersucht. Im Jahr 1975 begannen die ersten wissenschaftlichen Untersuchungen, die die Eignung als Endlager für radioaktive Abfälle überprüfen sollten. Es wurden besonders die geologischen und bergtechnischen Gegebenheiten für eine mögliche Endlagerung von radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung geprüft.

Nach Einleitung des atomrechtlichen Planfeststellungsverfahrens gemäß §9 AtG durch die damals zuständige Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) erfolgte zwischen 1982 und 1990 eine umfassende geowissenschaftliche und bergtechnische Untersuchung und Bewertung im Rahmen einer Langzeitsicherheitsanalyse. Im Detail umfassten die Arbeiten folgende Schwerpunkte:

- weitere untertägige Erkundung der Lagerstätte durch das Auffahren von Strecken bis etwa zum äußeren Rand der voraussichtlichen Nutzung als Endlager für radioaktive Abfälle

- das Abteufen der vollständig gekernten Untersuchungsbohrung Konrad 101 zur geohydraulischen und seismischen Untersuchung des gesamten Deckgebirges der Endlagerformation und etwa 300 m des Liegenden sowie zur Durchführung umfangreicher geochemischer und mineralogischer sowie Festigkeitsuntersuchungen
- Neubewertung der tektonischen und geologischen Rahmenbedingungen unter Auswertung vorliegender und Durchführung neuer reflexionsseismischer Untersuchungen auf acht Profilen
- Überarbeitung einer Vielzahl früher abgeteufter Tiefbohrungen auf Eisenerz und Erdöl sowie der Schachtprofile Konrad 1 und Konrad 2

Nach Abschluss des 1982 begonnenen Planfeststellungsverfahrens und der gerichtlich letztinstanzlichen Bestätigung der Genehmigung befindet sich der Standort in der Umrüstungsphase zum Endlager für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung.

5.2.3.2 Bewertung

Die Darstellungen bzw. die Bewertung der am Standort Konrad durchgeführten Erkundungen befinden sich im Anhang 17. Bei der Darstellung der berechneten Indizes wurden die Verfahrensschritte 4 + 5 (übertägige sowie untertägige) betrachtet. Verfahrensschritt 4 allein entfällt wegen der Verwendung des vorhandenen untertägigen Hohlraumes. In Abbildung 5.2.3.2-1 werden die für die am Standort Konrad durchgeführten Erkundungen berechneten Zuverlässigkeitsindizes der verschiedenen Themenkomplexe mit den abgeleiteten (siehe Abs. 4.5.4) Indexwerten für sonstige Gesteine unter Tonbedeckung (für die Verfahrensschritte 4 + 5) verglichen. In Abbildung 5.2.3.2-2 sind als Belegungsraaster die verschiedenen Themenkomplexe den jeweiligen Erkundungsmethoden gegenübergestellt, wobei die für den Standort Konrad vorgenommenen Erkundungsmaßnahmen dunkelgrün sind und das Belegungsraaster der für sonstige Gesteine unter Tonbedeckung abgeleiteten Erkundungsmaßnahmen rot umrandet ist.

Die Erkundungsmaßnahmen erfolgten für ein vorhandenes Bergwerk. Die damaligen Rahmenbedingungen entsprachen somit nicht dem vom AkEnd vorgeschlagenen Auswahlverfahren mit vergleichenden Untersuchungen an mehreren Standorten, sondern zielten vorrangig auf die lokale Standortcharakterisierung ab, ausgehend vom bereits vorhandenen Kenntnisstand. Aufgrund der langen Zeitdauer des Genehmigungsverfahrens spiegeln die den Bearbeitern des Forschungsvorhabens vorliegenden Daten den Stand der Erkundungsmaßnahmen von 1982 bis 1989 wider. In der Konsequenz entsprechen die vorliegenden Ergebnisse

nicht der nach heutigen Maßstäben zu erwartenden Datenbasis. Teilweise waren aktuell zu betrachtende Themenkomplexe damals nicht Untersuchungsgegenstand (siehe Abbildungen 5.2.3.2-1 und 5.2.3.2-2). Unabhängig davon wurde das geplante Endlager Konrad auf Basis der auch von der atomrechtlichen Genehmigungsbehörde als ausreichend eingeschätzten Datenlage genehmigt.

Die in den vorgenommenen Erkundungsmaßnahmen fast vollständig fehlende Abdeckung der regionalen geologischen Aspekte (Inhalte A), ist durch die bei Beginn der Erkundung bereits hierüber vorhandenen ausreichenden Informationen zu erklären. Bei der Festlegung auf die Schachtanlage Konrad war ein insgesamt guter Erkundungsstand der Region gegeben, der aus der intensiven Erkundung im Rahmen der Erdöl/Erdgas- bzw. Rohstoffexploration auf Eisenerze resultierte, so dass hierzu keine Erkundungsmaßnahmen explizit dokumentiert sind.

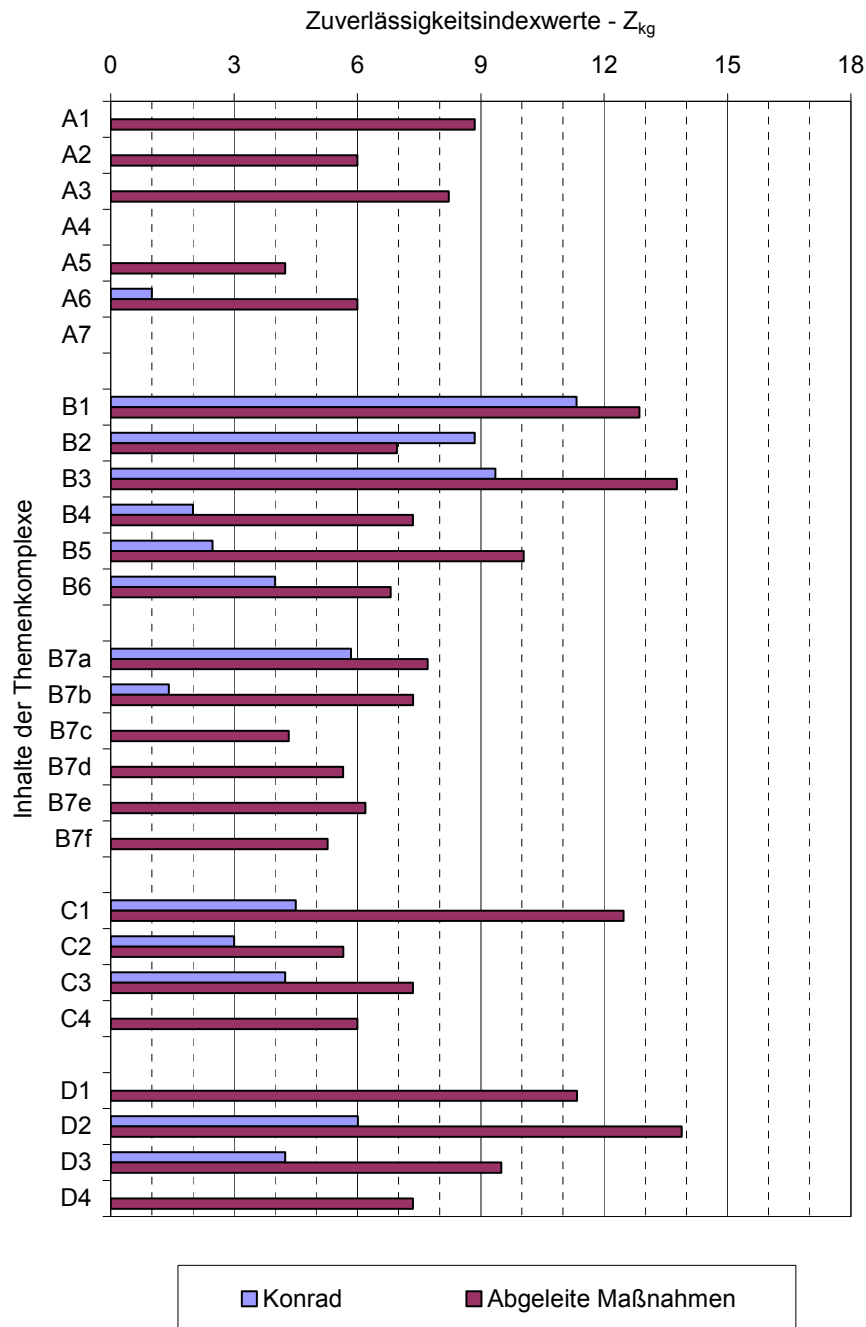


Abb. 5.2.3.2-1 Zuverlässigkeitsindizes der verschiedenen Themenkomplexe für das Endlager Konrad im Vergleich zu den Kennwerten der abgeleiteten Erkundungsmaßnahmen für sonstige Gesteine unter Tonbedeckung (Schritte 4 + 5)

Konrad	Erkundungs- methoden: 1-9 übertägig 10-14 untertägig	Fernerkundung	Geophysik (übertägig)	Geophysik (im Bohrloch)	Geol. Kartierung	Bohrungen	Feldmessungen - Geohydraulik	Feldmessungen - Geochemie	Feldmessungen - Geomechanik	Labor	Geophysik	geologische Kartierung	Bohrungen	In-situ- Messungen	Labor
Inhalte der Themenkomplexe	Bezeichnungen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Regionale Geologie (20 km*20 km)															
Wirtsgestein / Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)	A1														
Stratigraphie	A2														
Strukturgeologie und Tektonik (Störungsmuster, Faltung)	A3														
Regionales Spannungsfeld	A4														
Temperatur und Wärmeleitfähigkeit	A5														
Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z.B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)	A6														
Rohstoffvorkommen	A7														
Eigenschaften des Wirtsgesteins und der Rahmengesteine am Standort															
Lithologie	B1														
Geometrie (Tiefenlage, Ausdehnung)	B2														
Makro-Struktur (Großgefüge: Störungen / Faltungen / Deformationen / Klüfte)	B3														
Mikro-Struktur (Korngefüge / Porenstruktur)	B4														
In-situ-Spannungsverhältnisse	B5														
Mineralogie	B6														
Petrophysikalische Eigenschaften (Probenmaßstab):															
Gesteinsmechanik (z.B. Festigkeit, Kriechen)	B7a														
Hydraulik (z.B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)	B7b														
Diffusion	B7c														
Thermik	B7d														
THMC-Kopplung	B7e														
Chemismus (z.B. Oxidation, Adsorption)	B7f														
Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)															
Hydraulisch wirksame Einheiten	C1														
Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein	C2														
Fließ- und Speicherparameter	C3														
Zwei-Phasenfluss-Parameter	C4														
Hydrochemie															
Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)	D1														
Porenwasserchemismus	D2														
Transporteigenschaften	D3														
Kolloide usw.	D4														

durchgeführte Erkundungsaktivität

abgeleitete Erkundungsaktivität

durchgeführte Erkundungsaktivität

abgeleitete Erkundungsaktivität

Abb. 5.2.3.2-2 Belegung von Themenkomplexen mittels durchgeführter über- und untertägiger Erkundungsmethoden am Standort Konrad im Vergleich zu den abgeleiteten Erkundungsmaßnahmen für sonstige Gesteine unter Tonbedeckung

Für die für die bautechnische Machbarkeit relevanten Eigenschaften der Gesteine (einige Inhalte der Themenkomplexe unter B) waren aufgrund der vorherigen bergbaubezogenen Tätigkeiten nur wenige Erkundungsmaßnahmen erforderlich.

Aufgrund der Konfiguration sonstiger Gesteine unter Tonbedeckung ist bezüglich der Gesteinseigenschaften zwischen der Gesteinsformation, in der das Endlager angelegt ist, und den umgebenden Schichten, die die eigentliche geologische Barriere bilden, zu unterscheiden. Bezüglich der Eigenschaften der geologischen Barriere wird in den vorliegenden Informationen hinsichtlich der Langzeitsicherheit auch auf die vorliegenden Erfahrungen und Ergebnisse der Erdölindustrie verwiesen. Jedoch ist insgesamt der standortspezifische Erkundungsgrad der Barrieregesteine vergleichsweise gering, da sie nur durch die Bohrung bzw. durch die Schächte einschließlich zweier Untersuchungsstollen in der Unterkreide zugänglich waren.

Die sonstigen nicht abgedeckten abgeleiteten Erkundungsmaßnahmen dokumentieren letztlich neuere Erkenntnisse zur Schadstoffausbreitung in Tongesteinen bzw. dem als Lockergestein vorliegenden obersten Schichten des Deckgebirges, die zum Zeitpunkt der Untersuchungen nicht bekannt waren.

6 SCHLUSSFOLGERUNGEN

6.1 Internationale Recherche

6.1.1 Standortverfügbarkeit

Unter Zugrundelegung des Vorhabensziels - die Ableitung von Erkundungsmethoden zur Anwendung in Deutschland im Schritt 4 bzw. 5 des vom AkEnd vorgeschlagenen Verfahrens zur Endlagerstandortauswahl - ist festzustellen, dass nur ein Teil der ursprünglich identifizierten internationalen Endlagerprogramme bzw. -standorte für die weitere Bearbeitung geeignet war.

Bezieht man sich auf die vier vorgegebenen zu betrachtenden Wirtsgesteinsgruppen - Salzgesteine, Tone/Tonsteine, Kristallin sowie sonstige Gesteine unter Tonbedeckung - ist die Anzahl relevanter Erkundungsstandorte gering. Von den internationalen Standorten entspricht keiner der Beschreibung „sonstige Gesteine unter Tonbedeckung“. Bezüglich der URL-Standorte sind nach Einschätzung der Bearbeiter des Forschungsvorhabens nur die von Relevanz, bei denen es darum geht, standortspezifische Daten für die Errichtung eines Endlagers zu gewinnen (z.B. Bure/Frankreich).

Zur Bewertung wurden weiter geführt:

- 2 Standorte in Salzgestein
- 4 Standorte in Tonen/Tonsteinen
- 6 Standorte in Kristallin
- 1 Standort in sonstigen Gesteinen (ohne Tonbedeckung)

Hinsichtlich der für die weitere Bearbeitung geeigneten 13 Erkundungsstandorte ist anzumerken, dass in mehreren Fällen die entsprechenden Erkundungsarbeiten aktuell noch laufen. Das bedeutet, dass für diese Standorte eine vollständige Durchführung der Erkundungsschritte 4 bzw. 5 im Sinne des AkEnd noch nicht gegeben ist.

6.1.2 Gesteinsübergreifende Aspekte

Die vorliegenden Informationen über die jeweiligen Endlagerprogramme sind sehr verschieden. Daher musste im Verlauf der Bearbeitung einerseits mit großer Datenfülle und andererseits mit unzureichenden Datenmengen/-detaillierungsgrad umgegangen werden. Im ersten Fall bestand die Schwierigkeit darin, die vorhabensrelevanten Elemente aus den zahlreichen vorhandenen Quellen zu extrahieren. Im zweiten Fall waren teilweise bearbeiterspezifische, erfahrungsbasierte Einschätzungen erforderlich, um die Bewertungen vervollständigen zu können. In diesem Zusammenhang sind aufgrund der gewählten konservativen Vorgehensweise eher Unter- als Überschätzungen der tatsächlich erfolgten Erkundungsintensitäten zu erwarten. Diese Tatsache wurde in den anschließenden Arbeitsschritten berücksichtigt.

Trotz der zu erwartenden Unterschiede der Endlagerprogramme sowie der Subjektivität von einigen erforderlichen Bewertungen im Rahmen der Zuordnungen zu den verwendeten Qualitäts- bzw. Quantitätskategorien deuten die Ergebnisse auf einen hohen Konsistenzgrad zwischen den Standorterkundungen hin. Bei Betrachtung der Standortübersichten (Anhänge 5 bis 8) zeichnet sich trotz der realen unterschiedlichen gesteinspezifischen Anforderungen eine starke Ähnlichkeit in den gewählten Vorgehensweisen für die Erkundung ab. In den Erkundungsprogrammen ist eine allgemein übliche Kombination von Geophysik (übertägig sowie im Bohrloch) und Bohrungen festzustellen. Für einige Themenkomplexe sind die Bohrungen zur Beprobung bzw. zur Durchführung von In-situ-Tests in jedem Fall unerlässlich. Im untertägigen Anteil der Erkundungen werden diese Aspekte zusammen mit der Vertiefung der Kenntnisse der petrophysikalischen Eigenschaften weiter verfolgt.

6.1.3 Gesteinsspezifische Aspekte

Gesteinsspezifische Aspekte kommen in den Ergebnissen sowohl in den verschiedenen erreichten Informationsständen (Z_{kg} -Werte) als auch im Abdeckungsgrad der einzelnen Themenkomplexe (Anhang 18) zum Ausdruck. Die festgestellten Unterschiede in den jeweiligen Formationen stimmen mit der auf den konzeptspezifischen Anforderungen eines entsprechenden Endlagers basierten Erwartung überein. So werden beispielsweise die im Zusammenhang mit Strömungsvorgängen stehenden Themenkomplexe an den Standorten im Kristallin intensiver erkundet, als bei Standorten in Salzgesteinen bzw. Tonen/Tonsteinen.

6.1.4 Standortspezifische Aspekte

Bei der Bewertung der verschiedenen Standorte ergab sich, dass an Standorten, die einem expliziten Auswahlverfahren äquivalent zum Schritt 4 bzw. 5 des AkEnd-Vorschlages unterliegen, Umfang und Ausmaß der durchgeführten Erkundungsmaßnahmen signifikant höher sind als an Standorten, für die ein solches Auswahlverfahren nicht vorgesehen war. Dieser Unterschied zeigt sich in einem Vergleich der Abbildung 3.2.3.4-1 (Einzelstandorte Bátaapáti/Ungarn, Onkalo/Finnland, Sellafield/England) mit der Abbildung 3.2.3.4-2 für die Standorte in einem Auswahlverfahren (Forsmark/Schweden, Oskarshamn/Schweden). Im Falle Forsmark/Schweden sowie Oskarshamn/Schweden sind eine wesentlich bessere Abdeckung der Themenkomplexe sowie höhere Zuverlässigkeitsindexwerte für B1 bis B3 ersichtlich.

6.2 Ableitung Erkundungsmethoden für Standorte in Deutschland

6.2.1 Basis der Ableitungen

Im Ergebnis der durchgeführten Arbeiten wird eingeschätzt, dass - obwohl nur wenige internationale Standorte als Referenz vorliegen, die keine sichere statistische Basis zur Bewertung von Erkundungsmethoden und -umfängen bilden - die vorliegenden Informationen unter Einbeziehung des Expertenwissens der Autoren trotzdem ausreichen, um eine Ableitung von Erkundungsmaßnahmen zu ermöglichen.

6.2.2 Merkmale einiger abgeleiteten Erkundungen

Bezüglich der verschiedenen Wirtsgesteinsformationen und entsprechenden Subtypen lassen sich über den Vergleich der für die einzelnen Themenkomplexe ermittelten Zuverlässigkeitsindizes folgende Aussagen ableiten:

- Mit wenigen Ausnahmen liegen die abgeleiteten Maßnahmen zur Bewertung der regionalen Geologie (Themenkomplex A) im Vergleich zu den vorhandenen Orientierungswerten aus internationalen Erkundungen bei den ausgewiesenen Zuverlässigkeitsindizes höher. Allerdings sind, abgesehen von der WIPP/USA, die betrachteten Erkundungsprogramme noch nicht abgeschlossen. Somit wird deren Einstufung zukünftig höhere Werte ergeben.

Die abgeleiteten Erkundungsmaßnahmen zur regionalen Geologie liegen für alle hier betrachteten Formationen auf einem vergleichbaren Niveau. Lediglich für die Konfiguration „Kristallin ohne bzw. unter geringer Bedeckung“ werden bei gleichem Erkundungsaufwand aufgrund der günstigen Aufschlussverhältnisse signifikant höhere Zuverlässigkeitsindexwerte zur regionalen Ausbildung der Wirtsformation, wie sie z.B. über Wirtsgesteinslithologie und Strukturgeologie beschrieben wird, erreicht.

- Abgesehen vom Themenkomplex A, der nicht untertägig weiter erkundet wird, ergibt sich im Übergang von Verfahrensschritt 4 zu 4 + 5 erwartungsgemäß für alle Gesteinsgruppen mit der Durchführung untertägiger Erkundungsmaßnahmen eine signifikante Erhöhung der Zuverlässigkeitsindizes.
- Bei der Hydrogeologie der Wirts- und Rahmengesteine (Themenkomplexe C) und besonders für die Parameter, die den Grundwasserfluss beeinflussen (C2, C3, C4), wird deutlich, dass bei den zumeist geklüftet vorliegenden Kristallingesteinen ein erhöhter Aufwand zur Erzielung entsprechend hoher Orientierungswerte betrieben werden muss. Allerdings werden die Maßnahmen zur Untersuchung hydraulisch wirksamer Einheiten (C1) auch bei Salz- bzw. sonstigen Gesteinen unter Tonbedeckung vergleichsweise hoch bewertet. Dies resultiert insbesondere aus der notwendigen Bewertung der Rahmengesteine, die in Abhängigkeit des Betrachtungsfalles als potenzielle zusätzliche geologische Barriere bzw. als Ausbreitungspfad wirken können. Tongesteine mit ihrem hohen Rückhaltungsvermögen für Radionuklide erfordern einen vergleichsweise geringeren Aufwand.
- Hydrochemische Untersuchungen (Themenkomplexe D) sind analog zu den hydraulischen Untersuchungen insbesondere im Kristallin von Bedeutung. Aufgrund der geringen Wassergehalte von Salzgesteinen sind dort hydrochemische Untersuchungen,

abgesehen von geochemische Untersuchungen zur stratigraphischen Einordnung der Gesteine, von untergeordneter Bedeutung. Allerdings ist bei zutretenden Lösungen nachzuweisen, dass es sich jeweils um primäre Formationslösungen (Restlösungen) handelt, ohne Beeinflussung durch Grundwasser der Rahmengesteine.

- Sonstige Gesteine unter Tonbedeckung stellen einen Sonderfall dar, da es international keinen vergleichbaren Standort gibt. Weiterhin ist als Ausnahme die Erkundung der eigentlichen Wirtsformation gegenüber der Exploration der Rahmengesteine, die letztlich die geologische Barriere bilden, von nachgeordneter Bedeutung. In der Konsequenz kommt hier der übertägigen Erkundung der Barrieregesteine ein höherer Stellenwert zu.

6.2.3 Gesteinsübergreifende Ähnlichkeit

Abgesehen von wenigen gesteinspezifischen Unterschieden ist festzustellen, dass sich die abgeleiteten Erkundungen für Standorte in den verschiedenen Formationen bzw. Konfigurationen nicht erheblich voneinander unterscheiden. Gleichzeitig zeigte sich, dass eine untertägige Erkundung zur Erlangung einer ausreichenden Erkundungsbasis unverzichtbar ist.

6.2.4 Praktische Einschränkung

Bei der Ableitung der Erkundungen wurden nur allgemein anwendbare Methoden und Umfänge berücksichtigt, da konkrete Erkundungsmaßnahmen für spezifische Standorte erst nach der Betrachtung der vorhandenen Informationen definiert werden sollen.

6.3 Vergleich mit den deutschen Erfahrungen

6.3.1 Bedeutung der Randbedingungen und Zielstellungen für die Erkundung

Der Vergleich der im Zusammenhang mit der Endlagerung radioaktiver Abfälle vorgenommenen Erkundungen an den drei deutschen Standorten mit den auf Grundlage der internationalen Erfahrungen abgeleiteten Erkundungsmaßnahmen hat die große Bedeutung der spezifischen Rahmenbedingungen bzw. der Zielstellungen der Arbeiten zur Zeit der jeweiligen Erkundungsaktivität gezeigt.

Die zum Vergleich mit den deutschen Erfahrungen betrachteten abgeleiteten Erkundungsmaßnahmen beziehen sich auf die folgenden angenommenen Bedingungen: Anwendung des vom AkEnd vorgeschlagenen Auswahlverfahrens für Endlagerstandorte mit im Schritt 4 über-

tägiger und anschließend im Schritt 5 untertägiger Erkundungen alternativer Standorte sowie der Durchführung eines Langzeitsicherheitsnachweises zur Bewertung jedes Standortes mit Abschluss des jeweiligen übertägigen bzw. untertägigen Erkundungsschritts.

Die tatsächlichen Zielstellungen für die vorgenommenen Erkundungen an den Standorten Gorleben, Morsleben sowie Konrad entsprachen jedoch nicht dem für die Ableitung der Erkundungsmaßnahmen angenommenen Zustand nach den Vorstellungen des AkEnd, was einen wesentlichen Teil der Unterschiede zu den abgeleiteten Erkundungsmaßnahmen erklärt.

- Im Fall des Erkundungsbergwerkes Gorleben war die Zielstellung der Arbeiten die Auf- fahrung und Erkundung eines Standortes im unverritzten Salzgebirge, jedoch nicht im Rahmen einer vergleichenden Bewertung mehrerer Standorte; darüber hinaus wurden die Erkundungen vor dem Abschluss unterbrochen.
- Am Standort Morsleben (ERAM) wurde in einem vorhandenen Bergwerk in intensiv durchbautem Gebirge ein Endlager für LAW- und MAW-Abfälle betrieben. Die Ergeb- nisse der umfangreichen Erkundungen dienten zur Durchführung eines planrechtlichen Schließungsverfahrens. Dies beinhaltete auch die Erarbeitung eines Langzeitsicher- heitsnachweises.
- Für den Standort des Endlagers Konrad war Zielstellung der Erkundung die mögliche Umnutzung eines vorhandenen ehemaligen Bergwerkes für Eisenerz als Endlager für radioaktive Abfälle, wobei bereits umfangreiche Standortinformationen vorlagen. Wei- terhin ist der Zeitpunkt der am Standort Konrad durchgeführten Erkundungen in den 1980er Jahren, die den aktuellen Kenntnisstand bilden, zu berücksichtigen.
- Die Anforderungen an die Untersuchung eines Standortes hängen weiterhin von der Art der Abfälle ab. Vor dem Hintergrund einer Einlagerung radioaktiver Abfälle mit ver- nachlässigbarer Wärmeentwicklung können die thermischen Eigenschaften des Wirts- gesteins für das ERAM bzw. das Endlager Konrad als von nachgeordneter Bedeutung betrachtet werden.

6.3.2 Erreichte Bearbeitungsstände der Erkundung

Für die Standorte Gorleben und Morsleben deuten die im vorliegenden Bericht durchgeführten Vergleiche auf einen insgesamt sehr guten Bearbeitungsstand hin. Morsleben weist in diesem Zusammenhang einen generell besseren Bearbeitungsstand als Gorleben auf. Am Standort Gorleben wurden die untertägigen Erkundungen vor Beendigung abgebrochen. Der gegenü-

ber den abgeleiteten Erkundungsmaßnahmen dokumentierte schlechtere Erkundungsstand des Endlagers Konrad spiegelt die den Bearbeitern des Forschungsvorhabens vorliegenden Daten zu den Erkundungsmaßnahmen von 1982 bis 1990 wider, wobei allerdings noch die zum damaligen Zeitpunkt vorliegenden anderen Informationen, z.B. aus der Erschließung bzw. dem Betrieb des Bergwerkes, für die Sicherheitsanalyse herangezogen wurden.

6.4 Relevanz der internationalen Erfahrungen für die zukünftige Praxis in Deutschland

Aus der Bearbeitung der Fragestellung bzw. aus den erzielten Ergebnissen ergeben sich einige Hinweise in Zusammenhang mit der zukünftigen Erkundung von potenziellen Endlagerstandorten in Deutschland:

- Die festgestellten Ähnlichkeiten zwischen den aktuellen internationalen Erkundungen demonstrieren, dass die daraus abgeleiteten Maßnahmen zumindest eine hinreichende Basis für die Definition von Inhalt und Umfang durchzuführender Erkundungen darstellen und damit für einen internationalen Stand von Wissenschaft und Technik.
- Die Erkundung im Rahmen eines stufenweise standortvergleichenden Auswahlverfahrens nach den Vorschlägen des AkEnd führt zu einem höheren Erkundungsaufwand, aber die auf diese Weise erhaltenen umfassenderen Informationen ermöglichen sichere Entscheidungen bei der letztlich durchzuführenden Standortauswahl mit dem Ziel der Errichtung eines Endlagers für radioaktive Abfälle.
- Bei der Auswertung des internationalen und nationalen Datenmaterials zeigt sich, dass für eine ausreichende Datenbasis zur Bewertung eines Endlagerstandortes eine untertägige Erkundung unverzichtbar ist.
- Der nur eingeschränkt mögliche Vergleich der internationalen Erkundungsanforderungen mit den entsprechenden deutschen Erfahrungen deutet nicht auf das Erfordernis von Änderungen der deutschen Vorgehensweisen bzgl. der Methoden bzw. des Umfangs für die Erkundung eines Standortes für die Endlagerung radioaktiver Abfälle hin.
- Internationale Kooperationen sowie die nachvollziehbare Veröffentlichung von ausführlichen Erkundungsinformationen fördern den wissenschaftlichen Erfahrungsaustausch, und können zu einer Verbesserung der Vorgehensweisen führen.

7 ZITATE

AKEND (2002): Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte - Abschlussbericht - Empfehlungen des AkEnd Arbeitskreis, 2002.

BALDSCHUHN, R., FRISCH, U. & KOCKEL, F. (eds) (1996): Geotektonischer Atlas von Nordwestdeutschland 1 : 300.000. 4 S., 65 Kt., 7 Taf., Hannover.

BGR (2007): Endlagerung radioaktiver Abfälle in Deutschland. Untersuchung und Bewertung von Regionen mit potenziellen Wirtsgesteinsformationen. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Hannover/Berlin, April 2007.

FÜCHTBAUER, H. (Hg.) (1988): Sedimente und Sedimentgesteine. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

GOLDER ASSOCIATES GMBH (2006): Entwicklung zuverlässiger Datengrundlagen und Auswertemethoden für die Endlagerstandortsuche. Bericht im Auftrag des BfS.

ANHÄNGE

Anhang 1

Standorttabellen

Anhang 1: Standorttabelle Salzgesteine

Standort	Anlagetyp	Organisation	Angaben
WIPP USA	Endlager	WIPP	in die weitere Bearbeitung einbezogen
Scanzano Jonico Italien	potenzieller Standort	SOGIN	in die weitere Bearbeitung einbezogen
Niederlande	generische Untersuchungen	NRG Nuclear Research & Consultancy Group	kein spezifischer Endlagerstandort - von der weiteren Bearbeitung ausgeschlossen Die Niederlande gehört zu den Ländern, die auch Salzformationen als Wirtsgestein für ein Endlager mit radioaktiven Abfallstoffen in Betracht ziehen. Wie Kontakte mit Vertretern von NRG (J. Grupa und A. Poley) bestätigt haben, gibt es in den Niederlanden vor dem Hintergrund einer ausreichenden Zwischenlagerkapazität mindestens für die nächsten 100 Jahre mittelfristig kein eigenständiges Untersuchungsprogramm lokaler Gesteinsformationen.

Anhang 1: Standorttabelle Tone/Tonsteine

Standort	Anlagetyp	Organisation	Angaben
Benken Schweiz	Untersuchungs- standort	NAGRA	in die weitere Bearbeitung einbezogen
Wellenberg Schweiz	Untersuchungs- standort	NAGRA	in die weitere Bearbeitung einbezogen
Bure Frankreich	URL	ANDRA	in die weitere Bearbeitung einbezogen
Mol Belgien	URL	CEN	in die weitere Bearbeitung einbezogen
Tournemire Frankreich	URL	IRSN	kein Endlagerstandort - von der weiteren Bearbeitung ausgeschlossen
Mont Terri Schweiz	URL	Mont Terri Project	kein Endlagerstandort - von der weiteren Bearbeitung ausgeschlossen
Spanien	generische Erkundungen	Enresa	kein spezifischer Endlagerstandort - von der weiteren Bearbeitung ausgeschlossen

Anhang 1: Standorttabelle Kristallin

Standort	Anlagetyp	Organisation	Angaben
Onkalo Finnland	geplante URL und Endlager HLW	Fortum	in die weitere Bearbeitung einbezogen
Grimsel Schweiz	URL	NAGRA	kein Endlagerstandort - von der weiteren Bearbeitung ausgeschlossen
Oskarshamn Schweden	Untersuchungs- standort	SKB	in die weitere Bearbeitung einbezogen
Forsmark Schweden	Untersuchungs- standort	SKB	in die weitere Bearbeitung einbezogen
Bataapati Ungarn	geplante Endlager L/ILW	MAFI	in die weitere Bearbeitung einbezogen
Krasnoyarsk u.a. Rußland	Untersuchungs- standorte	VNIPIPT	in die weitere Bearbeitung einbezogen, jedoch aufgrund von Zweifeln an der Zuverlässigkeit der Informationen nicht bis zur Bewertung weitergeführt
Äspö Schweden	URL	SKB - Äspö	kein Endlagerstandort - von der weiteren Bearbeitung ausgeschlossen
Whiteshell Kanada	URL	AECL	in die weitere Bearbeitung einbezogen, das URL wurde als potenzieller Standort für ein Endlager betrachtet
Mizunami Japan	URL	JAEA	kein Endlagerstandort - von der weiteren Bearbeitung ausgeschlossen
Sellafield Großbritannien	Untersuchungs- standort	NIREX	in die weitere Bearbeitung einbezogen
Tschechische Republik	Untersuchungs- standorte	RAWRA	kein spezifischer Endlagerstandort - von der weiteren Bearbeitung ausgeschlossen.
Spanien	generische Erkundungen	Enresa	kein spezifischer Endlagerstandort - von der weiteren Bearbeitung ausgeschlossen.

Anhang 1: Standorttabelle sonstige Gesteine unter Tonbedeckung

Standort	Anlagetyp	Organisation	Angaben
Horonobe Japan	URL	JAEA	kein Endlagerstandort - von der weiteren Bearbeitung ausgeschlossen
Kincardine Kanada	geplante Endlager L/ILW	OPG	keine zum AkEnd-Verfahrensschritt 4 bzw. 5 [AKEND (2002)] relevanten Erkundungen von der weiteren Bearbeitung ausgeschlossen
Yucca Mountain USA	URL und geplante Endlager HLW	DOE	in die weitere Bearbeitung einbezogen
Slowakei		Deconta	kein spezifischer Endlagerstandort - von der weiteren Bearbeitung ausgeschlossen

Anhang 2

Beschreibungen der nicht in die weitere
Bearbeitung einbezogenen Standorte

Standort:	Mont Terri (Schweiz)
Name - Typ:	Mont Terri Project - Untertagefellslabor (URL)
Lage:	nördlich von St. Ursanne im Kanton Jura im Bereich des Sicherheitsstollens des A16 Mont Terri-Tunnels
Betreiber:	<p>Projektdirektion: swisstopo - Bundesamt für Landestopographie</p> <p>Projektleitung: GI - Geotechnisches Institut AG</p> <p>Zuständigkeit für Autobahntunnel: Kanton Jura, Department Wirtschaft + Verkehr (RCJU)</p> <p>Projektpartner: swisstopo (CH) - Bundesamt für Landestopographie HSK (CH) - Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen NAGRA (CH) - Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle SCK•CEN (B) - Studiecentrum voor Kernenergie / Forschungszentrum für Nuklearenergie ANDRA (F) - Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs IRSN (F) - Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire BGR (D) - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe GRS (D) - Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit OBAYASHI (J) - Obayashi Corporation JAEA (J) - Japan Atomic Energy Agency CRIEPI (J) - Central Research Institut of Electric Power Industry ENRESA (ESP) - Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S.A.</p> <p>Mitfinanzierung ausgewählter Experimente: EU - Europäische Union SBF - Staatssekretariat für Bildung und Forschung</p>
Fläche:	max. 150 m x 200 m
Erschließung/Teufenlage:	Stollen (800 m Länge) und Nischen in etwa 300 m Teufe (unter der Erdoberfläche)
Geologie:	<p>Das Fellslabor Mont Terri liegt im Bereich des Sicherheitsstollens des Mont Terri-Autobahntunnels der Nationalstraße A16. Dieser Tunnel im Faltenjura quert die äußerste Falte, die Mont Terri-Antiklinale, welche auf die Vorlandplatte überschoben ist. Der Südteil dieses Tunnels durchquert die gesamte südfallende Sedimentserie (von Süden nach Norden vom jüngeren Malm bis zur jüngeren Trias) im Südschenkel der Antiklinale, so dass hier ein lückenloses, wenig gestörtes Profil aufgenommen werden kann. Der Opalinuston ist ca. 150 m mächtig und steht im Stollen, bedingt durch das Südfallen, auf einer Länge von etwa 240 m an. Die Überlagerung beträgt heute im Laborbereich 230 bis 320 m; die ursprüngliche Überlagerung wird auf mindestens 1.000 m geschätzt.</p> <p>Im Bereich des Fellslabors sind die Schichten etwa 45° nach Südosten geneigt und durch kleinere Störungen versetzt. Überlagert wird der Bereich des URL von Kalksteinen.</p>

Historie:	<p>1989 Ausbruch Erkundungsstollen im Mont Terri-Autobahn-Tunnelsystem. Detaillierte geologische Tunnelkartierung durch LGH (heute BWG) und NAGRA</p> <p>1995 Bewilligung eines Vorprojektes durch die «République et Canton de Jura»</p> <p>1995 Dem „Clay Club“, einer Arbeitsgruppe unter der Leitung der OECD/NEA, wird ein Forschungsvorschlag „Opalinus-Ton, Mont Terri-Erkundungsstollen“ vorgestellt; großes Interesse, Verhandlungen und Einigung.</p> <p>1996 Ausbruch von 8 Nischen im Erkundungsstollen Mont Terri, Beginn des Bohr- und Untersuchungsprogrammes (Security Gallery)</p> <p>1997 Einreichen des Gesuches für den Ausbruch einer neuen Galerie und erweitertem Forschungsprogramm (RCJU)</p> <p>1997 Bewilligung der Galerie 98 und des erweiterten Forschungsprogrammes durch RCJU</p> <p>1997 Start des Ausbruches der Galerie 98</p> <p>1998 Fertigstellung der Galerie 98</p> <p>1998 Einweihung des Mont Terri-Felslabors, Start des erweiterten Forschungsprogrammes</p> <p>1999 Internationaler Mont Terri-Workshop</p> <p>2001 Re-Organisation des Projektes</p> <p>2001 Start des ersten Projektes, durch die EU mitfinanziert (Ventilations-Experiment)</p> <p>2002 Start zur Erarbeitung eines neuen langfristigen Forschungsprogrammes mit insgesamt 60 eingegangenen Experimentvorschlägen</p> <p>2003 Auswahl, Abstimmung und Entscheid zur Durchführung von etwa 1/3 der eingegangenen Experimentvorschläge (Partner) des neuen langfristigen Forschungsprogrammes</p> <p>2003 Ausbruch der HE-D- und EZ-A-Nischen (Versuche „THM coupling“ und „EDZ cut off“)</p> <p>2004 Umsetzung eines umfangreichen Bohr- und Installationsprogrammes</p> <p>2004 Erweiterung des Felslabors: Ausbruch der Galerie 2004; Zugangstunnel mit 4 Versuchsnischen (40 m) 80 m lang</p> <p>2005 Start von vier neuen Großexperimenten: Gas path through host rock and along seals (HG-A Experiment), Fracture generation in excavation disturbed zone (EZ-B Experiment), Self-sealing barriers of clay/sand mixtures (SB Experiment), Radionuclide diffusion und retention long-term experiment (DR Experiment)</p> <p>2005 Neuer Projektdirektor - P. Bossart ersetzt M. Thury (Gründer des Mont Terri-Projektes im Jahr 1995)</p> <p>2007 aktuelles Arbeitsprogramm Phase 13 (07/2007 - 06/2008)</p>
------------------	--

Standort:	Tournemire (Frankreich)
Name - Typ:	Untertagelabor (URL)
Lage:	im Departement Aveyron in der Region Region Midi-Pyrénées in der Gemeinde Roquefort-sur-Soulzon unweit der Ortschaft Tournemire
Betreiber:	IRSN (F) - Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire
Fläche:	ca. 2 km langer Tunnel mit drei bis zu 40 m langen Querschlägen
Erschließung/ Teufenlage:	sölig verlaufender Eisenbahntunnel (2.000 m Länge) durch einen Höhenrücken (ca. 850 m Höhe über NN), der seitlich durch zwei Täler (ca. 450 bis 500 m über NN) begrenzt wird; mittlere Überdeckung ca. 250 m
Geologie:	<p>Das URL liegt in einem marinen Becken des Mesozoikums an der südlichen Grenze des französischen Zentralmassivs. Die ca. 250 m mächtigen Tonsteinschichten sind zwischen zwei karbonatischen bzw. dolomitischen Gesteinsformationen (300 bis 500 m Mächtigkeit) eingelagert, die jeweils als über- bzw. unterlagernde Aquifere wirksam sind. Die Tournemire-Tonsteinformation baut sich im Liegenden aus stark verfestigten Tonsteinen bzw. untergeordnet Mergeln des Toarcian (ca. 200 m) auf, die von den Mergeln des Domerians (unterer Jura, ca. 50 m) überlagert werden.</p> <p>Die Tonformation besteht aus stark verfestigten Tonsteinen mit ca. 40 bis 50% Tonanteil (Illit, Kaolinit, Chlorit und Smektit). Als Nebengemengteile treten Karbonate mit hauptsächlich Kalzit (10 bis 30%), Dolomit und Siderit sowie Quarz- (10 bis 20%) und Feldspatkörner auf. Das sehr kompakte Gestein (Dichte: 2,7 bis 2,8 g/cm³) besitzt eine Porosität zwischen 6 und 9% mit einem Wassergehalt zwischen 1 und 5%.</p> <p>Die annähernd flach liegende monoklinale Struktur der Tournemire-Lokation wird im Norden von einer E-W-streichenden größeren regionalen Störungszone (Cernon-Störung; 80 km Länge) begrenzt, an der die unterlagernden Kalksteine und Dolomite tektonisch aufgeschoben sind. Im Süden verläuft ebenfalls E-W die St. Afrique - St. Jean d' Alcapie's-Störung (16 km Länge). Die aus dieser Tektonik entstandenen Störungen bzw. Klüfte resultieren in einer blockartigen Zergliederung des Untersuchungshorizontes, wobei im Nahbereich des Versuchslabors alle Skalen bruchhafter Verformung zwischen Mikro-Klüftung (zumeist mit Kalzit verheilt) und einer Störungszone (ca. 20 m Mächtigkeit in der westlichen Versuchsstrecke) aufgeschlossen sind.</p>
Historie:	<p>1881 Auffahrung des Eisenbahntunnels mittels einer pneumatischen Vortriebsmaschine</p> <p>1990 Beginn der Standortuntersuchungen mit 6 vertikalen Bohrlöchern (eins in die Firste und 5 in die Sohle)</p> <p>1994 Erstellung eines radialen 8-fach Bohrlochfächers (Bohrungen jeweils horizontal und vertikal sowie in den Diagonalen zur Tunnelachse)</p> <p>1995 1. Kampagne von Spannungsmessungen (Überbohrmethode)</p> <p>1996 Auffahrung zweier gegenüber liegender jeweils 30 m langer horizontaler Querschläge senkrecht zur Tunnelachse (Auffahrung mit Teilschnittmaschine)</p> <p>1999 2. Kampagne von Spannungsmessungen (Überbohrmethode)</p> <p>2003 Auffahrung einer zusätzlichen 40 m langen Querstrecke („mine-by-test“ und EDZ-Charakterisierung)</p>

Standort:	Äspö (Schweden)
Name - Typ:	Äspö Hard Rock Laboratory (ÄHRL) - URL
Lage:	im SE Schwedens, im südlichen Teil der Insel Äspö, ca. 30 km NW von Oskarshamn
Betreiber:	Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB)
Fläche:	ca. 800 m x 800 m sowie der Zufahrtstunnel
Erschließung/ Teufenlage:	direkte Zufahrt über eine Tunnelrampe, die in eine Wendel übergeht (2,5 Windungen mit einer Gesamttunnelstrecke von ca. 3.600 m) sowie über einen Schacht bis in eine Teufe von 460 m
Geologie:	<p>Die Insel Äspö ist Teil des präkambrischen Grundgebirges im SE Schwedens, das vorwiegend aus dem sogenannten Småland-Granit, einer granitischen Intrusion mit einem Alter von ca. 1.750 Mio. Jahren gebildet wird. Er ist durchsetzt mit metamorphen Grünsteinen sowie basischen Gesteinen (Gabbro - Diorit), die insbesondere im südlichen Teil auftreten. Zusätzlich gibt es lokale räumlich eng begrenzte Vorkommen von jüngeren grobkörnigen, roten Graniten, die vor ca. 1.400 Mio. Jahren intrudiert sind, sowie gangartig ausgebildete extrem feinkörnige Granite (Aplite).</p> <p>Als Folge tektonischer Beanspruchung wird das Kristallin von Scher- und Störungszonen unterschiedlicher Intensität durchzogen, die vorzugsweise N-S, E-W sowie NE-SW ausgerichtet sind. Aufgrund einer Wassersäule von ca. 200 m Höhe gibt es z.T. starke Wasserzutritte.</p>
Historie:	<p>1986 - 1990: Geologische Vorerkundung mit Lufterkundung (Elektromagnetik und Gravimetrie) sowie 3D-Seismik</p> <p>Okt. 1990: Beginn Tunnel-Auffahrung, begleitend geowissenschaftliches Erkundungsprogramm</p> <p>Zielsetzung der wissenschaftlichen Untertagearbeiten:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) Überprüfung der verfügbaren untertägigen Erkundungsmethoden (2) Entwicklung einer Erkundungsstrategie im Kristallin (3) Überprüfung von hydraulischen Modellen zur Simulation des Barriereverhaltens (d.h. Isolationsvermögen, Retention, Verdünnung) (4) Entwicklung und Demonstration von Einlagerungstechniken sowie Verschlussystemen (d.h. Prototyp-Einlagerung, Rückholbarkeit) <p>1986 - 1995: Arbeiten für die Schwerpunkte (1) und (2):</p> <ul style="list-style-type: none"> • geologische Bohrlochuntersuchungen • geophysikalische Bohrlochmessungen • hydrogeologische Untersuchungen • Grundwasser-Geochemie • Spannungsmessungen • Monitoring <p>aktuell: Forschungsarbeiten zu den Schwerpunkten (3) und (4)</p>
Literatur	<p>http://www.skb.se/</p> <p>SKB (1996): "Äspö Hard Rock Laboratory. 10 years of research" Svensk Kärnbränslehantering AB.</p> <p>Svemar, C., Pettersson, S. & T. Hedman (2003): Äspö Hard Rock laboratory, WM'03 Conference, February 23-27, 2003, Tucson, AZ.</p>

Standort:	Grimsel (Schweiz)
Name - Typ:	Grimsel Test Site (GTS) / Felslabor Grimsel (FLG) - Untertagefelslabor (URL)
Lage:	im Kanton Bern im Süden der Schweiz
Betreiber:	NAGRA (plus 20 Partnerorganisationen)
Fläche:	< 0,2 km ²
Erschließung/ Teufenlage:	<p>Das Felslabor Grimsel liegt in einer Höhe von 1.730 mNN und 450 m tief unter der Ostflanke des Juchlistockes (Aarmassiv). Es kann über einen 1.200 m langen Zugangsstollen der Kraftwerke Oberhasli AG (KWO) erreicht werden.</p> <p>Das GTS-Tunnelsystem ist etwa 1 km lang und wurde 1983 mittels einer Tunnelbohrmaschine aufgefahen (Durchmesser: 3,5 m).</p>
Geologie:	<p>Das FLG befindet sich in granitischen Gesteinen des Aar-Massivs. Lange Zeit wurde angenommen, dass es sich um kristallines Basement handelt, welches überlagernde Sedimente durchstoßen hat. Aktuelle Untersuchungen im Lötschberg-Eisenbahn-Tunnel zeigen, dass es sich um eine Überschiebungsdecke („thrust sheet“) handelt, welche in einigen Bereichen jüngere Sedimente überlagert. Es kommen sowohl ungestörte homogene Gesteine als auch stark gestörte Bereiche vor (Scherzonen, Kluftsysteme, Lamprophyre und aplitische Gänge).</p>
Historie:	<p>Zwischen Mai und November 1983 wurde das GTS-Tunnelsystem mittels Tunnelbohrer auf einer Gesamtlänge von etwa 1,1 km aufgefahen (Volumen: 14.800 m³). Hohlräume und Nischen wurden zusätzlich durch Sprengvortrieb angelegt. In den Jahren 1995, 1997 und 2000 wurde das Tunnelsystem nochmals erweitert.</p> <p>In den letzten 20 Jahren wurden zahlreiche Untersuchungen durchgeführt. Diese umfassen sowohl geologische als auch geophysikalische Arbeiten sowie Untersuchungen bezüglich Hydrogeologie und Nuklidtransport.</p> <p>Übersicht über die Untersuchungsprogramme:</p> <p>1983 - 1986 Untersuchung des Standortes 1984 - 1986 / 1994 - 1996 geophysikalische Untersuchungen 1986 - 2004 Retardation von Radionukliden 1990 - 1993 Fernfeld-Untersuchungen 1994 - 1996 Nahfeld-Untersuchungen 1995 - 2004 großmaßstäbliche Demonstrationsexperimente 1997 - 2004 Test und Verifizierung von Modellierungen 1997 - 2003 Optimierung von Methoden zur Standortcharakterisierung 2003 - 2013 Phase VI</p>

Standort:	Mizunami (Japan)
Name - Typ:	Mizunami Underground Research Laboratory Project - geplanter URL-Standort
Lage:	40 km nordöstlich der Stadt Nagoya, in der Präfektur Gifu auf der Insel Honshu
Betreiber:	Japan Atomic Energy Agency (JAEA), vorher Japan Nuclear Cycle Development Institute (JNC)
Fläche:	Areal des Projektgeländes ca. 7,5 ha
Erschließung/ Teufenlage:	Es sind zwei Schächte geplant; die Hohlräume für Experimente sollen in 500 m sowie 1.000 m Tiefe errichtet werden.
Geologie:	Tertiär-Sedimente - die Mizunami-Gruppe (Miozän) sowie die Seto-Gruppe (Pliozän) - überlagern erodiertes kristallines Fundamentgestein (Toki-Granit - Kreide) in einer Tiefe von 100 m bis 180 m. Die Forschungsgalerien sind im Toki-Granit herzustellen. Es werden 12 große Störungen am Standort erwartet.
Historie:	<p>Im Jahr 1996 begann das MIU-Projekt zur Errichtung eines URL an einem Standort in Shobasama, 1,5 km westlich von Mizunami. Im Jahr 2002 wurde die Arbeit zum aktuellen Standort Mizunami verlagert und 2003 mit dem Schachtbau begonnen.</p> <p>Im November 2007 erreichten die zwei Schächte eine Tiefe von 200 m; sie sollen 2009 eine Tiefe von etwa 500 m erreichen.</p> <p>Die Forschungs- bzw. Demonstrationseinrichtung dient zusammen mit dem URL in Horonobe dem japanischen Endlagerprogramm. Es ist nicht beabsichtigt, ein Endlager am Standort zu errichten.</p>
Zitat	<p>JNC (2004): International Conference on Underground Research Laboratory Projects in Mizunami and Horonobe, Japan. Part 1: International Conference on Geoscientific Study in Mizunami '04 Project. JNC TN7400 2004-010, Japan Nuclear Cycle Development Institute</p> <p>Sonstige Informationen erhalten von: http://www.jaea.go.jp/04/tono/miue/publ/publications.html</p> <p>JNC (2002): Master Plan of the Mizunami Underground Research Laboratory Project. TN7410 2003-001 Tono Geoscience Centre, Japan Nuclear Cycle Development Institute, Febr. 2002</p> <p>JNC (2003): Working Program for MIZ-1 Borehole Investigations. JNC TN7400 2002-008 Tono Geoscience Centre, Japan Nuclear Cycle Development Institute, März 2003</p>

Standort 1:	Nizhnekansker Granitoidmassiv, Russland mit zwei möglichen Standorten
Name - Typ:	a) Verchne Itatskij: geplanter HLW-Endlagerstandort b) Jenisejskij: geplanter HLW-Endlagerstandort im Umfeld des Bergbau-Chemischen Kombinats (BChK) Shelesnogorsk
Lage:	Das Nishnekansker Granitoidmassiv liegt im Süden Zentralsibiriens; 75 km nordöstlich von Krasnojarsk, am Rand der Stadt Shelesnogorsk mit dem Bergbau-Chemischen Kombinat.
Betreiber:	Föderale Agentur für Atomenergie Russlands (ROSATOM) (Auftraggeber), VNIPI Promtehnologii (Untersuchungen am Standort)
Fläche:	a) Verchne Itatskij: ca. 9 x 11 km b) Jenisejskij: ca. 7,5 x 10 km und detaillierter auf ca. 5 x 5 km
Erschließung/ Teufenlage:	Die Standorte sind nur über wenige Bohrungen in der Tiefe erschlossen. Die Untertageanlagen des BChK wurden für erste Näherungen herangezogen; sie liegen im gleichen Gesteinskomplex, der dort jedoch aus Metamorphiten und nicht aus Graniten aufgebaut ist.
Geologie:	Das Nizhnekansker Granitoidmassiv liegt im südwestlichen Randbereich der Sibirischen Plattform und ist Teil der Jenisejsker Gebirgskette, die eine schollenartige Heraushebung darstellt (Angara-Kansker Scholle). Das kristalline Grundgebirge ist aus hochmetamorphen und magmatischen präkambrischen Gesteinen, die nur lokal von jurassischen Sedimenten (hauptsächlich Tonsteine) überdeckt sind, aufgebaut. Orogenetische Prozesse haben das Gebiet der Angara-Kansker Scholle seit dem Paläozoikum nicht mehr betroffen, so dass sie als Krustenblock erhalten blieb.
Historie:	Ab 1950 wurde das Bergbau-Chemische Kombinat Shelesnogorsk mit untertägigen Produktionsanlagen für die Produktion von Waffenplutonium errichtet. Zwischen 1958 und 1961 nahmen dort zwei Reaktoren ihren Betrieb auf, welcher 1992 endgültig beendet wurde. Ein dritter, noch im Betrieb befindlicher Reaktor dient der Energieerzeugung. Eine Wiederaufbereitungsanlage wurde Ende der 90er Jahre zunächst nicht fertiggestellt, so dass nur das Zwischenlager genutzt wird. 1992 wurde im Umfeld des BChK mit der Suche nach einem Endlagerstandort für die dort anfallenden und zwischengelagerten radioaktiven Abfälle begonnen.

Anmerkungen:

Qualitative Bewertung:

- Die angewandten Untersuchungsmethoden werden in den vorliegenden Berichten nicht beschrieben, so dass eine qualitative Bewertung der Methoden in Bezug auf ihre generelle Eignung, Durchführung und eventuelle Fehler bei den erhobenen Daten nicht möglich ist.
- In den Untersuchungsergebnissen liegen zahlreiche Widersprüche vor, so dass die Qualität der Methoden und deren Durchführung generell kritisch zu bewerten ist.

Standort 2:	Majak, Russland
Name - Typ:	Majak - geplanter HLW-Endlagerstandort im Umfeld der Produktionsstätte für Waffenplutonium (Majak)
Lage:	Die Produktionsvereinigung Majak befindet sich an der Ostflanke des mittleren bis südlichen Urals im Gebiet Tscheljabinsk in der Nähe der Stadt Oersk.
Betreiber:	Förderale Agentur für Atomenergie Russlands (ROSATOM) (Auftraggeber)
Fläche:	Für weitergehende Untersuchungen werden zwei Gebiete mit Flächen von 1,5 bzw. 3 km ² empfohlen.
Erschließung/ Teufenlage:	mehrere bis zu 1.200 m tiefe Erkundungsbohrungen Da eine Endlagerung in Bohrungen erwogen wird, ist der Bau einer Untertageanlage derzeit nicht geplant.
Geologie:	Der Standort Majak liegt regionalgeologisch im Verschweißungsgebiet der präkambrischen Europäischen und Asiatischen Plattformen. Es bildet den Übergangsbereich zwischen dem Faltenzug des Urals und der Westsibirischen Platte. Westlich der Produktionsvereinigung befindet sich das Zentrale Hebungsgebiet des Urals mit mehreren Anti- und Synklinallzonen. Majak selbst liegt im Bereich des Kysyltaschsker Synklinoriums, das aus altpaläozoischem Marmor, Gneisen und kristallinen Schiefern sowie aus mittelpaläozoischen Tuffen und Laven von Andesit-Basalt-Porphyrten aufgebaut ist. Bei dem potenziellen Wirtsgestein handelt es sich um basische Vulkanite, die grünschieferfaziell überprägt wurden und eine Gesamtmächtigkeit von etwa 2 km erreichen. Insgesamt ist die Region um die Produktionsvereinigung Majak durch einen komplizierten geologischen Blockbau gekennzeichnet.
Historie:	Ende 1945 begann am Standort Majak die Errichtung der Produktionsstätten für Waffenplutonium, die 1948 in Betrieb genommen wurden. Insgesamt entstanden dort sieben Reaktoren, von denen heute nur noch zwei betriebsfähig und derzeit stillgelegt sind. Außerdem befinden sich auf dem Gelände eine Wiederaufbereitungsanlage und der Standort für das geplante Endlager für hochradioaktive Abfälle. Ende der 80er Jahre begann das Institut VNIPI Promtehnologii mit intensiven geologischen Erkundungsarbeiten zur Bewertung des Eignungsgrades des Standortes Majak für ein HLW-Endlager. Bis Mitte der 90er Jahre und ergänzend im Jahr 2003 erfolgten durch die Akademie der Wissenschaften der Russischen Föderation (IGEM) detaillierte Untersuchungen zur strukturell-tektonischen Entwicklung der Region.

Anmerkungen:

Qualitative Bewertung:

Die angewandten Untersuchungsmethoden werden in den vorliegenden Berichten nicht beschrieben, so dass eine qualitative Bewertung der Methoden in Bezug auf ihre generelle Eignung, Durchführung und eventuelle Fehler bei den erhobenen Daten nicht möglich ist.

Aufgrund verschiedener Probleme wurden die Untersuchungsarbeiten in Majak für unbestimmte Zeit unterbrochen.

Standort:	Horonobe (Japan)
Name - Typ:	Horonobe Underground Research Center - geplanter URL-Standort
Lage:	in der Nähe der Stadt Horonobe im nördlichen Teil der Insel Hokkaido
Betreiber:	Japan Atomic Energy Agency (JAEA), vorher Japan Nuclear Cycle Development Institute (JNC)
Fläche:	Der Schachtbau wurde 2006 begonnen und soll 2010 abgeschlossen werden. Das Areal des Projektes beträgt ca. 10 km ² ; der Umfang der geplanten untertägigen Experimentstollen ca. 180 x 110 m ² .
Erschließung/ Teufenlage:	Drei Schächte sind geplant. Die Hohlräume für die Experimente sollen in Tiefen von 250 m sowie 500 m errichtet werden.
Geologie:	<p>Der Standort befindet sich etwa 15 km von der heutigen Küste mit periglazialer Morphologie.</p> <p>Der Untergrund wird von neogenen Sedimenten gebildet. Im Liegenden befinden sich Eruptivgesteine sowie Gesteine des Paläogen bis zur Kreide. Das URL soll in den Wakkanai- und Koetoi-Formationen errichtet werden. Hierbei handelt es sich um Tonsteine.</p> <p>Die Gegend ist als tektonisch aktiv zu bezeichnen.</p> <p>In der Region Horonobe wurden Erkundungen nach Erdöl und Erdgas durchgeführt sowie Kohle abgebaut.</p>
Historie:	Die Forschungs- bzw. Demonstrationseinrichtung dient - zusammen mit dem URL in Mizunami - dem japanischen Endlagerprogramm. Es ist formell ausgeschlossen, ein Endlager am Standort zu errichten. Nach dem Abschließen der erforderlichen Vereinbarungen zur zukünftigen Nutzung der Anlage in 2000 wurde mit verschiedenen Erkundungsaktivitäten von der Oberfläche aus im Jahr 2001 begonnen.
Zitat	<p>JNC (2004): International Workshop on Horonobe Underground Research Laboratory Project. JNC TN5400 2004-005, Japan Nuclear Cycle Development Institute:</p> <p>http://www.jaea.go.jp/english/04/horonobe/conference.html</p>

Standort:	Kincardine (Kanada)
Name - Typ:	DGR - geplanter Endlagerstandort für L/ILW
Lage:	zwischen den Städten Kincardine und Port Elgin im kanadischen Bundesstaat Ontario; innerhalb des Geländes der Bruce Kernkraftwerke in der Nähe des Ostufers des Huronsees
Betreiber:	Ontario Power Generation
Fläche:	Die untertägige Fläche des geplanten Endlagers beträgt ca. 30 ha.
Erschließung/ Teufenlage:	Es wird erwartet, dass die Einlagerung der radioaktiven Abfälle in einer Tiefe von etwa 660 m erfolgt.
Geologie:	Der Standort befindet sich im Michigan-Becken. Hier liegen paläozoische Sedimente der Western St. Lawrence-Plattform über kristallinem Fundamentgestein. Nahe der Oberfläche am Standort befinden sich eiszeitliche Sedimente. Die flach lagernden paläozoischen Sedimente haben eine Mächtigkeit am Standort von etwa 800 m; sie werden von Karbonatgesteinen, Schiefer, Evaporiten sowie untergeordnet Sandsteinen gebildet.
Historie:	<p>Studien im Zusammenhang mit dem Projekt - zur Machbarkeit sowie Verträglichkeit - wurden in 2003/2004 fertiggestellt. Zu diesem Zeitpunkt standen keine standortspezifischen Informationen zum tieferen Untergrund des Standortes zur Verfügung. Es musste auf regionale Daten zurückgegriffen werden.</p> <p>Im Jahr 2006 wurde eine Studie zur Planung der Erkundung des Standortes veröffentlicht. Die Erkundungsmaßnahmen begannen 2006 mit 2D-Seismik bzw. mit 2 gekernten Tiefbohrungen in 2007.</p>
Zitat	Informationen erhalten von: http://www.opg.com/power/nuclear/waste/dgr/docs/?path=Other%20Project% 20Documentation

Anhang 3

Sammelbegriffe - Erkundungsmethoden

Anhang 3

Erkundungsmethoden - Sammelbegriffe	Bezeichnung
<i>übertägig</i>	
Fernerkundung	1
Geophysik (übertägig)	2
Geophysik (im Bohrloch)	3
geologische Kartierung	4
Bohrungen	5
Feldmessungen - Geohydraulik	6
Feldmessungen - Geochemismus	7
Feldmessungen - Geomechanik	8
Labor	9
<i>untertägig</i>	
Geophysik	10
geologische Kartierung	11
Bohrungen	12
In-situ-Messungen	13
Labor	14

Anhang 4

Grundlage der Einstufung von
Erkundungsmaßnahmen in Qualitäts-
bzw. Quantitätskategorien

Anhang 4: Grundlagen der Einstufung von Erkundungsmaßnahmen in Qualitäts- bzw. Quantitätskategorien

	Qualität			Quantität (innerhalb des jeweiligen Erkundungsbereiches)			
Numerische Kategorien Maßnahmen	1	2	3	0	1	2	3
1) Fernerkundung							
2) Geophysik (übertägig)							
• Seismik	Reprocessing alter Daten	Messung 2D-Seismik	3D-Seismik	keine	2D-Profile Profilabstand > =1 km	2D-Profildichte ausreichend zur Erstellung eines räumlichen Modells Profilabstand < 1 km	3D-Datenvolumen
• Passive Seismik	regionales Netzwerk seismologischer Stationen	gezielt aufgebautes lokales seismolo- gisches Netzwerk	gezielt aufgebau- tes lokales Netz- werk inkl. Registrierung mikroseismischer Ereignisse	keine	< 3 Stationen regional	3 Stationen lokal	> 3 Stationen lokal
• Magnetik	Messung auf einzelnen Profilen	flächenhafte Messung mit qualitativer Interpretation	flächenhafte Messung mit quantitativer Interpretation	keine	einzelne Profile < 1 Profil / km ²	flächenhafte Mes- sung mit Punkt- abstand > = 500 m	flächenhafte Mes- sung mit Punkt- abstand < 500 m
• Gravimetrie	Messung auf einzelnen Profilen	flächenhafte Messung mit qualitativer Interpretation	flächenhafte Messung mit quantitativer Interpretation	keine	einzelne Profile < 1 Profil / km ²	flächenhafte Mes- sung mit Punkt- abstand > = 500 m	flächenhafte Mes- sung mit Punkt- abstand < 500 m
• Geoelektrik / Elektromagnetik	Kartierung / Sondierung auf einzelnen Profilen	Kartierung / Sondierung in der Fläche	2D- und 3D- Messungen mit quantitativer Interpretation	keine	einzelne Profile < 1 Profil / km ²	flächenhafte Mes- sung mit Punkt- abstand > = 500 m	flächenhafte Mes- sung mit Punkt- abstand < 500 m

Anhang 4: Grundlagen der Einstufung von Erkundungsmaßnahmen in Qualitäts- bzw. Quantitätskategorien

	Qualität			Quantität (innerhalb des jeweiligen Erkundungsbereiches)			
Numerische Kategorien Maßnahmen	1	2	3	0	1	2	3
• Radiometrie	Messung auf einzelnen Profilen	flächenhafte Messung eines Isotopes	flächenhafte Messung mehrerer Isotope	keine	einzelne Profile < 1 Profil / km ²	flächenhafte Messung mit Punkt- abstand > =500 m	flächenhafte Messung mit Punkt- abstand < 500 m
3) Geophysik (im Bohrloch)	ältere Messungen in vorhandenen Bohrungen liegen vor; evtl. Digitalisierung notwendig	Standardmessprogramm (Gamma Ray, Widerstandsmessungen, Dichte-Log, Eigenpotenzial, Kaliber-Messung, evtl. Akustik-Log)	Berücksichtigung spezifischer Aufgabenstellungen (Borehole Televiwer, Flowmeter, Temperatur, NMR)	keine	< 1 Bohrung / km ²	1 Bohrung / km ² bis 10 Bohrungen / km ²	> 10 Bohrungen / km ²
4) Geol. Kartierung	visuelle Aufnahme	visuelle Aufnahme und Einmessen von Strukturen	visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung	keine	Maßstab < 1 : 200.000	Maßstab 1 : 200.000 bis 1 : 25.000	Maßstab > 1 : 25.000
5) Bohrungen	-	Schlagbohrung (Spülproben)	Kernbohrung	keine	< 1 Bohrung / km ²	1 Bohrung / km ² bis 10 Bohrungen / km ²	> 10 Bohrungen / km ²
6) Feldmessungen Geohydraulik							
• Bestimmung der Gebirgsdurchlässigkeit	Messungen im offenen Bohrloch	Injektionsversuch (Lugeon, WD)	Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil, Slug Test	keine	< 10 Best. / km ³	10 bis 100 Best. / km ³	> 100 Best. / km ³
• Bestimmung des Wasserdruckes	offenes Bohrloch Doppelpackertest, Standrohrspiegelhöhe	Piezometerbeobachtungen	Multi-Packer-Beobachtungen	keine	< 10 Best. / km ³	10 bis 100 Best. / km ³	> 100 Best. / km ³

Anhang 4: Grundlagen der Einstufung von Erkundungsmaßnahmen in Qualitäts- bzw. Quantitätskategorien

	Qualität			Quantität (innerhalb des jeweiligen Erkundungsbereiches)			
Numerische Kategorien Maßnahmen	1	2	3	0	1	2	3
• Tracertest	Randbedingungen unbekannt	Randbedingungen bekannt, kleiner Maßstab	Randbedingungen bekannt, großer Maßstab		< 2 Tests / Standort	2 bis 20 Tests / Standort	> 20 Tests / Standort
• Interferenztest			Multi-Packer-Beobachtungen	keine	< 1 Test / km ³	1 bis 10 Tests / km ³	> 10 Tests / km ³
• Pumpversuch		Kurzpumpversuch	Großpumpversuch		< 1 Test / km ³	1 bis 10 Tests / km ³	> 10 Tests / km ³
7) Feldmessungen - Geochemie							
• Elektrische Leitfähigkeit	einzelne Messungen in Wasserproben einer offenen Bohrung	Leitfähigkeits-Log in einer offenen Bohrung	Beprobung im getrennten Intervall mit Messung im Intervall oder in Durchflussszelle an der Geländeoberfläche	keine	< 10 Messungen / km ³	10 bis 50 Messungen / km ³	> 50 Messungen / km ³
• In-situ-pH	Bestimmung an Wasserprobe im Labor	Bestimmung an Wasserprobe im Feldlabor	Beprobung im getrennten Intervall, Messung im Intervall oder in Durchflussszelle an der Geländeoberfläche	keine	≤ 2 pH-Werte / km ³	3 bis 10 pH-Werte / km ³	> 10 (pH- und Eh-Werte) / km ³
• In-situ-Eh (sowie gelöster Sauerstoff) gemessen im Fluss im Bohrlochintervall oder einer Durchflussszelle an der Geländeoberfläche	ohne Feststellung der Elektroden-Stabilisation bzw. der Spülungs-kontamination	ohne Feststellung der Elektroden-Stabilisation; keine oder niedrige Spülungs-kontamination	Feststellung der Elektroden-Stabilisation; keine oder niedrige Spülungskontamination	keine	≤ 2 Eh-Werte (DO-Werte) / km ³	3 bis 10 Eh-Werte (DO-Werte) / km ³	> 10 Eh-Werte (DO-Werte) / km ³

Anhang 4: Grundlagen der Einstufung von Erkundungsmaßnahmen in Qualitäts- bzw. Quantitätskategorien

	Qualität			Quantität (innerhalb des jeweiligen Erkundungsbereiches)			
Numerische Kategorien Maßnahmen	1	2	3	0	1	2	3
8) Feldmessungen - Geomechanik:							
• Spannungs- und zeitabhängiges Verformungsverhalten	Indexversuche zur generellen Einordnung	adäquates Stoffgesetz mit Parametersätzen	numerische Modellierung / Feldmessdaten zur Verifizierung	keine	Indexversuche	repräsentative Verteilung über Teufenprofil	2D- oder 3D-Modell
• Spannungszustand	lithologisches Teufenprofil	Kernmaterial / Feldtests	3D-Spannungsfeld	keine	Einzelmessung	mehrere Einzelmessungen	großmaßstäblicher In-situ-Versuch
• Temperaturfeld	Bohrlochmessung	Bohrloch / Feldtests	3D-Messanordnung	keine	Einzelmessung	mehrere Einzelmessungen	großmaßstäblicher In-situ-Versuch
• Transporteigenschaften	Kernmaterial	Labor / Feldtests	3D-Messanordnung	keine	Einzelmessung	mehrere Einzelmessungen	großmaßstäblicher In-situ-Versuch
9a) Labor - Wirtsgestein (auch untertägig):							
Lithologie	Standardprogramm Geologie / Mineralogie	Spezialuntersuchungen (Petrographie / Datierung / Gefügeanalyse)	genetisches Modell	keine	Indexversuche	repräsentative Verteilung über Teufenprofil	2D- oder 3D-Modell
Mikrostruktur	qualitative Beschreibung	Quantitative Beschreibung (Bildanalyse / Petrophysik, vgl. B7b)	formations-, skalenabhängiges Modell mit Petrophysikkorrelation	keine	Indexversuche	repräsentative Verteilung über Teufenprofil	2D- oder 3D-Modell
In-situ-Spannungsverhältnisse	Einzelmethode	verschiedene Verfahren (Racos / Kernrelaxation)	alle relevanten Lithologien erfasst	keine	Indexversuche	repräsentative Verteilung über Teufenprofil	2D- oder 3D-Modell

Anhang 4: Grundlagen der Einstufung von Erkundungsmaßnahmen in Qualitäts- bzw. Quantitätskategorien

	Qualität			Quantität (innerhalb des jeweiligen Erkundungsbereiches)			
Numerische Kategorien Maßnahmen	1	2	3	0	1	2	3
Mineralogie (wie Lithologie)	Standardprogramm Geologie / Mineralogie	Spezialuntersuchungen (Petrographie / Datierung / Gefügeanalyse)	Genetisches Modell	keine	Indexversuche	repräsentative Verteilung über Teufenprofil	2D- oder 3D-Modell
9b) Labor - Petrophysik (auch untertägig):							
• Spannungs- und zeitabhängiges Verformungsverhalten	Indexversuche zur generellen Einordnung	adäquates Stoffgesetz mit Parametersätzen	Numerische Modellierung / Feldmessdaten zur Verifizierung	keine	Indexversuche	repräsentative Verteilung über Teufenprofil	2D- oder 3D-Modell
• Transporteigenschaften / Feuchte bzw. Sättigung	Gas- / Lösungspermeabilität / Porosität	2-Phasenströmungsparameter	hydraulisch / mechanische Kopplung	keine	mehrere Einzelmessungen	repräsentative Verteilung über Teufenprofil	2D- oder 3D-Modell
• Diffusion	Kernmaterial	Bohrloch	Kernmaterial / Bohrloch		Einzelmessung	komplexes Untersuchungsprogramm	Erfassung aller relevanten Lithologien
• thermische Parameter	Kernmaterial (Normalbedingungen)	Kernmaterial / Begleitprogramm (Geochemie / Mineralogie)	Kernmaterial (simulierte In-situ-Bedingungen)	keine	Indexversuche	repräsentative Verteilung über Teufenprofil	2D- oder 3D-Modell
• THMC-Kopplung	Labormessung - Kurzzeitversuch	Labormessung - erweiterte Skala / Langzeituntersuchung	In-situ-Versuch / Modellkonzept		mehrere Einzelmessungen	komplexes Untersuchungsprogramm	2D- oder 3D-Modell

Anhang 4: Grundlagen der Einstufung von Erkundungsmaßnahmen in Qualitäts- bzw. Quantitätskategorien

	Qualität			Quantität (innerhalb des jeweiligen Erkundungsbereiches)			
Numerische Kategorien Maßnahmen	1	2	3	0	1	2	3
<ul style="list-style-type: none"> Chemismus (Oxidation, Adsorption) 	Labormessung - Kurzzeitversuch	Labormessung - erweiterte Skala / Langzeituntersuchung	In-situ-Versuch / Modellkonzept		mehrere Einzelmessungen	komplexes Untersuchungsprogramm	Erfassung aller relevanten Lithologien
9c) Labor - Geochemie (auch untertägig)							
<ul style="list-style-type: none"> Karbonatalkalinität (HCO_3 oder gesamter inorganischer Kohlenstoff) 	Analyse ohne Information zur Probenkonservierung usw.	Laboranalyse mit Kontrolle der Spülungskontamination	Analyse im Feldlabor; keine oder geringe Spülungskontamination	keine	< 5 Proben / km^3	5 bis 25 Proben / km^3	> 25 Proben / km^3
<ul style="list-style-type: none"> redoxempfindliche gelöste Substanzen (Fe^{2+}, HS^-, NH_4) 	Analyse ohne Information zur Probenkonservierung usw.	Analyse ausreichend konservierter Proben	Analyse konservierter Proben im Feldlabor; keine oder geringe Spülungskontamination	keine	≤ 2 Proben / km^3	3 bis 10 Proben / km^3	> 10 Proben / km^3
<ul style="list-style-type: none"> gelöste Hauptsubstanzen (Na, K, Ca, Mg, Cl, SO_4, NO_3, F, Sr, Fe, Si, Mn, Ba, Si, Br, O_2) 	Proben weder filtriert noch konserviert; unbestimmte Spülungskontamination	5 - 20% Spülungstracer	$< 5\%$ Spülungstracer	keine	< 5 Proben / km^3	5 bis 25 Proben / km^3	> 25 Proben / km^3
<ul style="list-style-type: none"> Spurenelemente (U, Seltenerdmetalle, Cs, I usw.) 	Proben weder filtriert noch konserviert; unbestimmte Spülungskontamination	5 - 20% Spülungstracer	$< 5\%$ Spülungstracer	keine	≤ 2 Proben / km^3	3 bis 10 Proben / km^3	> 10 Proben / km^3

Anhang 4: Grundlagen der Einstufung von Erkundungsmaßnahmen in Qualitäts- bzw. Quantitätskategorien

	Qualität			Quantität (innerhalb des jeweiligen Erkundungsbereiches)			
Numerische Kategorien Maßnahmen	1	2	3	0	1	2	3
• Mikrobenanalyse	einfache Beprobung, nur Bestimmung der MPN ('most probable number')	sterile Beprobung, MPN oder andere einfache Analyse	sterile Beprobung und molekulare Analyse der Spezies	keine	≤ 2 Proben / km ³	3 bis 5 Proben / km ³	> 5 Proben / km ³
• Kolloidanalyse	Ultrafiltration und Teilchenanzahl		Teilchenanzahl und Stoffanalyse	keine	≤ 2 Proben / km ³	3 bis 5 Proben / km ³	> 5 Proben / km ³
• Isotopenverhältnisse (¹⁸ O / ¹⁶ O & ² H / ¹ H)	keine Kontrolle Spülungskontamination	5 - 20% Spülungs-tracer	$< 5\%$ Spülungs-tracer	keine	< 5 Proben / km ³	5 bis 25 Proben / km ³	> 25 Proben / km ³
• Bestimmung des Wasseralters: Tritium (³ H)	keine Kontrolle der Spülungskontamination	geringere Spülungskontamination	$< 1\%$ Spülungs-tracer	keine	≤ 2 Proben / km ³	3 bis 10 Proben / km ³	> 10 Proben / km ³
• Bestimmung des Wasseralters: Kohlenstoff 14 (¹⁴ C)	¹⁴ C-Analyse, Proben ohne Kontrolle der Spülungskontamination	¹⁴ C-Analyse ohne eine ¹³ C-Analyse sowie ¹⁴ C-Anfangsdaten	¹⁴ C- und ¹³ C-Analyse, $< 1\%$ Spülungstracer und 0,1 pmC Nachweisgrenze	keine	≤ 2 Proben / km ³	3 bis 10 Proben / km ³	> 10 Proben / km ³
• Bestimmung des Wasseralters: Chlor 36 (³⁶ Cl)	keine Kontrolle der Spülungskontamination	geringe Spülungskontamination	$< 5\%$ Spülungs-tracer	keine	≤ 2 Proben / km ³	3 bis 5 Proben / km ³	> 5 Proben / km ³
• Bestimmung des Wasseralters: gelöstes Helium (⁴ He)	einfache Beprobung und semi-quantitative Analyse		Druckkammer zur Beprobung sowie Schnellanalyse	keine	≤ 2 Proben / km ³	3 bis 5 Proben / km ³	> 5 Proben / km ³
• gelöste Gase (CH ₄ , H ₂ , usw.)	einfache Beprobung und semi-quantitative Analyse		Druckkammer zur Beprobung sowie Sonderanalyse	keine	≤ 2 Proben / km ³	3 bis 5 Proben / km ³	> 5 Proben / km ³

Anhang 4: Grundlagen der Einstufung von Erkundungsmaßnahmen in Qualitäts- bzw. Quantitätskategorien

	Qualität			Quantität (innerhalb des jeweiligen Erkundungsbereiches)			
Numerische Kategorien Maßnahmen	1	2	3	0	1	2	3
<ul style="list-style-type: none"> U-, Th-, Ra-, Rn-Isotopen im Wasser 	normale Beprobung Spurenelemente		Beprobung unter Anwendung von Fällungsmitteln + Isotopentrennung	keine	≤ 2 Proben / km ³	3 bis 5 Proben / km ³	> 5 Proben / km ³
<ul style="list-style-type: none"> U-, Th-Analyse von Gesteinsproben zur Einschätzung der In-situ-Radionukliden 	Röntgendiffraktionsanalyse (XRF) des Gesamtgesteins		Lösung des Gesteins + ICP-Analyse (inductively coupled plasma spectrometry)	keine	< 5 Proben / km ³	5 bis 25 Proben / km ³	> 25 Proben / km ³
<ul style="list-style-type: none"> Bestimmung der Verteilungskoeffizienten (Rd oder Kd) für relevante Radionuklide 	Batchversuche mit gebrochenem Gestein	Batchsorption sowie Diffusionsversuche an gebrochenen bzw. intakten Proben einer einzelnen Formation	Batchsorption sowie Diffusionsversuche an verschiedenen Gesteinseinheiten unter Anwendung verschiedener Wasserkompositionen		1 - 2 Rd-Bestimmungen / km ³ für jedes Radionuklid	3 - 5 Rd-Bestimmungen / km ³ für jedes Radionuklid	> 5 Rd-Versuche / km ³ für jedes Radionuklid
10) Geophysik untertage							
<ul style="list-style-type: none"> Georadar 	-	ungerichtete Messungen	gerichtete Messungen	keine	Einzelprofil in einer Strecke	Einzelprofile in mehreren Strecken / Schächten / Bohrlöchern	Messanordnungen zur Erstellung eines 3D-Raummodells
<ul style="list-style-type: none"> Seismik 	-	Messung mit einer Wellenart	Messung mit mehreren Wellenarten	keine	Einzelprofil in einer Strecke	Einzelprofile in mehreren Strecken / Schächten	Messanordnungen zur Erstellung eines 3D-Raummodells

Anhang 4: Grundlagen der Einstufung von Erkundungsmaßnahmen in Qualitäts- bzw. Quantitätskategorien

	Qualität			Quantität (innerhalb des jeweiligen Erkundungsbereiches)			
Numerische Kategorien Maßnahmen	1	2	3	0	1	2	3
<ul style="list-style-type: none"> sonstige geophysikalische Verfahren 	-	Einsatz weiterer Verfahren: Geoelektrik, EM, Gravimetrie	gemeinsame Auswertung / Inversion	keine	Einzelprofil in einer Strecke	Einzelprofile in mehreren Strecken / Schächten	Messanordnungen zur Erstellung eines 3D-Raummodells
11) geol. Kartierung untertage	visuelle Aufnahme	visuelle Aufnahme und Einmessen von Strukturen	visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung	keine	kartierte Fläche / Standortfläche < 0,1 (URL); < 0,01 (Endlager)	kartierte Fläche / Standortfläche 0,1 bis 1 (URL); 0,01 bis 0,1 (Endlager)	kartierte Fläche / Standortfläche > 1 (URL); > 0,1 (Endlager)
12) Bohrungen untertage	-	Schlagbohrungen	Kernbohrungen	keine	0,5 Bohrungen / 100 m Tunnel-länge	0,5 - 2 Bohrungen / 100 m Tunnellänge	> 2 Bohrungen / 100 m Tunnellänge
13) In-situ-Messungen - Geomechanik untertage							
<ul style="list-style-type: none"> Spannungs- und langzeitabhängiges Verformungsverhalten 	diskreter Messquerschnitt	3D-Messung im Versuchsfeld	großskaliger Feldversuch „Mine-by test“	keine	Einzelmessung	mehrere Einzelmessungen	Messdaten für Raummodell
<ul style="list-style-type: none"> Spannungszustand 	Minimalspannungszustand	3D-Spannungsfeld	reduzierte Messverfahren	keine	Einzelmessung	mehrere Einzelmessungen	Messdaten für Raummodell
<ul style="list-style-type: none"> Transportparameter / Feuchte bzw. Sättigung 	Bohrloch	Bohrlocharray	großskaliger Feldversuch	keine	Einzelmessung	mehrere Einzelmessungen	Messdaten für Raummodell
<ul style="list-style-type: none"> thermische Parameter 	-	übertägige Bohrung; Bohrlocharray	großskaliger Feldversuch	keine	Einzelmessung	mehrere Einzelmessungen	Messdaten für Raummodell

Anhang 4: Grundlagen der Einstufung von Erkundungsmaßnahmen in Qualitäts- bzw. Quantitätskategorien

	Qualität			Quantität (innerhalb des jeweiligen Erkundungsbereiches)			
Numerische Kategorien Maßnahmen	1	2	3	0	1	2	3
14) Labor untertage							
<ul style="list-style-type: none"> Spannungs- und zeitabhängiges Verformungsverhalten 	Indexversuche zur generellen Einordnung	adäquates Stoffgesetz mit Parametersätzen	numerische Modellierung / Feldmessdaten zur Verifizierung	keine	Indexversuche	repräsentative Verteilung über Teufenprofil	2D- oder 3D-Modell
<ul style="list-style-type: none"> Transporteigenschaften / Feuchte bzw. Sättigung 	Gas- / Lösungspermeabilität / Porosität	2-Phasenströmungsparameter	hydraulisch / mechanische Kopplung	keine	mehrere Einzelmessungen	repräsentative Verteilung über Teufenprofil	2D- oder 3D-Modell
<ul style="list-style-type: none"> thermische Parameter 	Kernmaterial (Normalbedingungen)	Kernmaterial / Begleitprogramm (Geochemie / Mineralogie)	Kernmaterial (simulierte In-situ-Bedingungen)	keine	Indexversuche	repräsentative Verteilung über Teufenprofil	2D- oder 3D-Modell

Anhang 5

Dokumentation -
internationale Standorte in
Salzgesteinen

Standort:	Scanzano Jonico (Italien)
Name - Typ:	bezeichneter und dann aufgegebenener Endlagerstandort für 100.000 m ³ radioaktive L/ILW
Lage:	Süditalien in der Region Basilicata
Betreiber:	Società Gestioni Impianti Nucleari (Sogin)
Fläche:	geplant war eine Untersuchungsfläche von etwa 2 km ²
Erschließung/ Teufenlage:	nicht erschlossen; es war vorgesehen, das Endlager in einer Tiefe von etwa 880 m zu errichten
Geologie:	<p>Ein Bericht zur Standortauswahl liegt nur in Italienisch vor. Informationen zu den zum Zeitpunkt der Standortauswahl vorhandenen Erkundungen wurden in einer Besprechung in Rom diskutiert.</p> <p>Das projektierte Endlager für radioaktive Abfälle sollte in einer Salzschieht mit einer Mächtigkeit von etwa 185 m liegen. Oberhalb des Salzes befinden sich tonige Schichten des Pliozän und Pleistozän mit einer Gesamtmächtigkeit von etwa 655 m. Die Mächtigkeit rezenter Sedimente beträgt etwa 60 m.</p>
Historie:	<p>Eine Studie zur Identifizierung eines Standortes, zuerst für ein flaches Endlager, mündete im Jahr 2003 in der Empfehlung für den Standort Scanzano Jonico als Tiefenendlager. Dieser Standort liegt in einer geographischen Region, die als geeignet für ein Endlager ausgewiesen war und es war bekannt, dass eine Reihe von Erkundungsinformationen bei der Erdölindustrie vorlagen. Untersuchungen fanden im Zusammenhang mit einer möglichen Nutzung für Salzkavernen bzw. zur Speicherung von Kohlenwasserstoffen statt. Verhandlungen wurden mit dem Ziel durchgeführt, die Nutzungsrechte für die vorhandenen Informationen aus geophysikalischen Erkundungen und Bohrungen zu erwerben.</p> <p>Das Projekt wurde vor Beginn der standortspezifischen Erkundungen wegen fehlender öffentlicher Akzeptanz aufgegeben.</p>

Scanzano Jonico, Italien

Die vorliegenden Informationen wurden im Verlauf einer Besprechung mit Personal der zur Zeit der entsprechenden Studie verantwortlichen Organisation SOGIN: PERSÖNLICH (2007) gegeben.

A Regionale Geologie (20 km x 20 km)

A1 Wirtsgestein/Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)

A1.1 Fernerkundung

A1.2 Geophysik (übertägig)

A1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A1.4 Geol. Kartierung

A1.5 Bohrungen

A1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A1.7 Feldmessungen - Geochemie

A1.8 Feldmessungen - Geomechanik

A1.9 Labor

A1.10 Untertage Geophysik

A1.11 Untertage geol. Kartierung

A1.12 Untertage Bohrungen

A1.13 Untertage In-situ-Messungen

A1.14 Untertage Labor

A2 Stratigraphie

A2.1 Fernerkundung

A2.2 Geophysik (übertägig)

A2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A2.4 Geol. Kartierung

A2.5 Bohrungen

A2.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A2.7 Feldmessungen - Geochemie

A2.8 Feldmessungen - Geomechanik

A2.9 Labor

A2.10 Untertage Geophysik

A2.11 Untertage geol. Kartierung

A2.12 Untertage Bohrungen

A2.13 Untertage In-situ-Messungen

A2.14 Untertage Labor

A3 Strukturgeologie und Tektonik

A3.1 Fernerkundung

A3.2 Geophysik (übertägig)

A3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A3.4 Geol. Kartierung

A3.5 Bohrungen

A3.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A3.7 Feldmessungen - Geochemie

A3.8 Feldmessungen - Geomechanik

A3.9 Labor

A3.10 Untertage Geophysik

A3.11 Untertage geol. Kartierung

A3.12 Untertage Bohrungen

A3.13 Untertage In-situ-Messungen

A3.14 Untertage Labor

A4 Regionales Spannungsfeld

A4.1 Fernerkundung

A4.2 Geophysik (übertägig)

A4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A4.4 Geol. Kartierung

A4.5 Bohrungen

A4.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A4.7 Feldmessungen - Geochemie

A4.8 Feldmessungen - Geomechanik

A4.9 Labor

A4.10 Untertage Geophysik

A4.11 Untertage geol. Kartierung

A4.12 Untertage Bohrungen

A4.13 Untertage In-situ-Messungen

A4.14 Untertage Labor

A5 Temperatur und Wärmeleitfähigkeit

A5.1 Fernerkundung

A5.2 Geophysik (übertägig)

A5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A5.4 Geol. Kartierung

A5.5 Bohrungen

A5.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A5.7 Feldmessungen - Geochemie

A5.8 Feldmessungen - Geomechanik

A5.9 Labor

A5.10 Untertage Geophysik

A5.11 Untertage geol. Kartierung

A5.12 Untertage Bohrungen

A5.13 Untertage In-situ-Messungen

A5.14 Untertage Labor

A6 Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z. B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)

A6.1 Fernerkundung

A6.2 Geophysik (überfällig)

A6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A6.4 Geol. Kartierung

A6.5 Bohrungen

A6.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A6.7 Feldmessungen - Geochemie

A6.8 Feldmessungen - Geomechanik

A6.9 Labor

A6.10 Untertage Geophysik

A6.11 Untertage geol. Kartierung

A6.12 Untertage Bohrungen

A6.13 Untertage In-situ-Messungen

A6.14 Untertage Labor

A7 Rohstoffvorkommen

A7.1 Fernerkundung

A7.2 Geophysik (überfällig)

A7.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A7.4 Geol. Kartierung

A7.5 Bohrungen

A7.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A7.7 Feldmessungen - Geochemie

A7.8 Feldmessungen - Geomechanik

A7.9 Labor

A7.10 Untertage Geophysik

A7.11 Untertage geol. Kartierung

A7.12 Untertage Bohrungen

A7.13 Untertage In-situ-Messungen

A7.14 Untertage Labor

B Eigenschaften des Wirtsgesteins und des Deckgebirges am Standort**B1 Lithologie/Stratigraphie****B1.1 Fernerkundung****B1.2 Geophysik (übertägig)**

Von den 70er Jahren bis 1991 wurden 2D-seismische Erkundungen durchgeführt. In der Erkundungsfläche entstanden insgesamt 3 bis 4 Linien/km in zwei orthogonalen Sätzen.

Qualität: 2 Quantität: 2

In der Erkundungsfläche wurden Messungen des elektrischen Widerstandes durchgeführt. Die Ergebnisse wurden in einer Karte mit dem Maßstab 1 : 25.000 dargestellt.

Ohne Bewertung, da keine Angaben über die Messverfahren, die Profilabstände und die Erkundungstiefe vorliegen.

In der Erkundungsfläche wurden gravimetrische Messungen mit einem Abstand von 300 m durchgeführt.

Qualität: 2 Quantität: 3

B1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

In 4 Bohrungen in der Erkundungsfläche wurden Eigenpotenzial und elektrischer Widerstand gemessen.

Qualität: 2 Quantität: 2

Qualität könnte auch auf 1 reduziert werden, da hier nicht das vollständige Standardprogramm abgearbeitet wurde.

B1.4 Geol. Kartierung**B1.5 Bohrungen**

In der Erkundungsfläche von etwa 2 km² befinden sich 4 Tiefbohrungen, die nicht gekernt wurden.

Qualität: 2 Quantität: 2

B1.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B1.7 Feldmessungen - Geochemie****B1.8 Feldmessungen - Geomechanik****B1.9 Labor****B1.10 Untertage Geophysik****B1.11 Untertage geol. Kartierung****B1.12 Untertage Bohrungen****B1.13 Untertage In-situ-Messungen****B1.14 Untertage Labor****B2 Geometrie****B2.1 Fernerkundung****B2.2 Geophysik (übertägig)**

Von den 70er Jahren bis 1991 wurden 2D-seismische Erkundungen durchgeführt. In der Erkundungsfläche entstanden insgesamt 3 bis 4 Linien/km in zwei orthogonalen Sätzen.

Qualität: 2 Quantität: 2

In der Erkundungsfläche wurden Messungen des elektrischen Widerstandes durchgeführt. Die Ergebnisse wurden in einer Karte mit dem Maßstab 1 : 25.000 dargestellt.

Ohne Bewertung, da keine Angaben über die Messverfahren, die Profilabstände und die Erkundungstiefe vorliegen.

In der Erkundungsfläche wurden gravimetrische Messungen mit einem Abstand von 300 m durchgeführt.

Qualität: 2 Quantität: 3

B2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

In 4 Bohrungen in der Erkundungsfläche wurden Eigenpotenzial und elektrischer Widerstand gemessen.

Qualität: 2 Quantität: 2

Qualität könnte auch auf 1 reduziert werden, da hier nicht das vollständige Standardprogramm abgearbeitet wurde.

B2.4 Geol. Kartierung

B2.5 Bohrungen

In der Erkundungsfläche von etwa 2 km² befinden sich 4 Tiefbohrungen, die nicht gekernt wurden.

Qualität: 2 Quantität: 2

B2.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B2.7 Feldmessungen - Geochemie

B2.8 Feldmessungen - Geomechanik

B2.9 Labor

B2.10 Untertage Geophysik

B2.11 Untertage geol. Kartierung

B2.12 Untertage Bohrungen

B2.13 Untertage In-situ-Messungen

B2.14 Untertage Labor

B3 Makro-Struktur

B3.1 Fernerkundung

B3.2 Geophysik (übertägig)

Von den 70er Jahren bis 1991 wurden 2D-seismische Erkundungen durchgeführt. In der Erkundungsfläche entstanden insgesamt 3 bis 4 Linien/km in zwei orthogonalen Sätzen.

Qualität: 2 Quantität: 2

In der Erkundungsfläche wurden Messungen des elektrischen Widerstandes durchgeführt. Die Ergebnisse wurden in einer Karte mit dem Maßstab 1 : 25.000 dargestellt.

Ohne Bewertung, da keine Angaben über die Messverfahren, die Profilabstände und die Erkundungstiefe vorliegen.

In der Erkundungsfläche wurden gravimetrische Messungen mit einem Abstand von 300 m durchgeführt.

Qualität: 2 Quantität: 3

B3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B3.4 Geol. Kartierung

B3.5 Bohrungen

B3.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B3.7 Feldmessungen - Geochemie

B3.8 Feldmessungen - Geomechanik

B3.9 Labor

B3.10 Untertage Geophysik

B3.11 Untertage geol. Kartierung

B3.12 Untertage Bohrungen

B3.13 Untertage In-situ-Messungen

B3.14 Untertage Labor

B4 Mikro-Struktur

B4.1 Fernerkundung

B4.2 Geophysik (übertägig)

B4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B4.4 Geol. Kartierung

B4.5 Bohrungen

B4.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B4.7 Feldmessungen - Geochemie

B4.8 Feldmessungen - Geomechanik

B4.9 Labor

B4.10 Untertage Geophysik

B4.11 Untertage geol. Kartierung

B4.12 Untertage Bohrungen

B4.13 Untertage In-situ-Messungen

B4.14 Untertage Labor

B5 In-situ-Spannungsverhältnisse

B5.1 Fernerkundung

B5.2 Geophysik (übertägig)

B5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B5.4 Geol. Kartierung

B5.5 Bohrungen

B5.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B5.7 Feldmessungen - Geochemie

B5.8 Feldmessungen - Geomechanik

B5.9 Labor

B5.10 Untertage Geophysik

B5.11 Untertage geol. Kartierung

B5.12 Untertage Bohrungen

B5.13 Untertage In-situ-Messungen

B5.14 Untertage Labor

B6 Mineralogie

B6.1 Fernerkundung

B6.2 Geophysik (übertägig)

B6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B6.4 Geol. Kartierung

B6.5 Bohrungen

B6.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B6.7 Feldmessungen - Geochemie

B6.8 Feldmessungen - Geomechanik

B6.9 Labor

B6.10 Untertage Geophysik

B6.11 Untertage geol. Kartierung

B6.12 Untertage Bohrungen

B6.13 Untertage In-situ-Messungen

B6.14 Untertage Labor

B7 Petrophysikalische Eigenschaften

B7a Gesteinsmechanik

B7a.1 Fernerkundung

B7a.2 Geophysik (übertägig)

B7a.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7a.4 Geol. Kartierung

B7a.5 Bohrungen

B7a.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7a.7 Feldmessungen - Geochemie

B7a.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7a.9 Labor

B7a.10 Untertage Geophysik

B7a.11 Untertage geol. Kartierung

B7a.12 Untertage Bohrungen

B7a.13 Untertage In-situ-Messungen

B7a.14 Untertage Labor

B7b Hydraulisch (z. B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)

B7b.1 Fernerkundung

B7b.2 Geophysik (übertägig)

B7b.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7b.4 Geol. Kartierung

B7b.5 Bohrungen

B7b.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7b.7 Feldmessungen - Geochemie

B7b.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7b.9 Labor

B7b.10 Untertage Geophysik

B7b.11 Untertage geol. Kartierung

B7b.12 Untertage Bohrungen

B7b.13 Untertage In-situ-Messungen

B7b.14 Untertage Labor

B7c Diffusion

B7c.1 Fernerkundung

B7c.2 Geophysik (übertägig)

B7c.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7c.4 Geol. Kartierung

B7c.5 Bohrungen

B7c.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7c.7 Feldmessungen - Geochemie

B7c.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7c.9 Labor

B7c.10 Untertage Geophysik

B7c.11 Untertage geol. Kartierung

B7c.12 Untertage Bohrungen

B7c.13 Untertage In-situ-Messungen

B7c.14 Untertage Labor

B7d Thermisch

B7d.1 Fernerkundung

B7d.2 Geophysik (übertägig)

B7d.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7d.4 Geol. Kartierung

B7d.5 Bohrungen

B7d.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7d.7 Feldmessungen - Geochemie

B7d.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7d.9 Labor

B7d.10 Untertage Geophysik

B7d.11 Untertage geol. Kartierung

B7d.12 Untertage Bohrungen

B7d.13 Untertage In-situ-Messungen

B7d.14 Untertage Labor

B7e THMC-Kopplung

B7e.1 Fernerkundung

B7e.2 Geophysik (übertägig)

B7e.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7e.4 Geol. Kartierung

B7e.5 Bohrungen

B7e.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7e.7 Feldmessungen - Geochemie

B7e.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7e.9 Labor

B7e.10 Untertage Geophysik

B7e.11 Untertage geol. Kartierung

B7e.12 Untertage Bohrungen

B7e.13 Untertage In-situ-Messungen

B7e.14 Untertage Labor

B7f Chemische Eigenschaften (z. B. Oxidation, Adsorption)

B7f.1 Fernerkundung

B7f.2 Geophysik (übertägig)

B7f.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7f.4 Geol. Kartierung

B7f.5 Bohrungen

B7f.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7f.7 Feldmessungen - Geochemie

B7f.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7f.9 Labor

B7f.10 Untertage Geophysik

B7f.11 Untertage geol. Kartierung

B7f.12 Untertage Bohrungen

B7f.13 Untertage In-situ-Messungen

B7f.14 Untertage Labor

C Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)

C1 Hydraulisch wirksame Einheiten

C1.1 Fernerkundung

C1.2 Geophysik (übertägig)

C1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

C1.4 Geol. Kartierung

C1.5 Bohrungen

C1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

C1.7 Feldmessungen - Geochemie

C1.8 Feldmessungen - Geomechanik

C1.9 Labor

C1.10 Untertage Geophysik

C1.11 Untertage geol. Kartierung

C1.12 Untertage Bohrungen

C1.13 Untertage In-situ-Messungen

C1.14 Untertage Labor

C2 Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein

C2.1 Fernerkundung

C2.2 Geophysik (übertägig)

C2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

C2.4 Geol. Kartierung

C2.5 Bohrungen

C2.6 Feldmessungen - Geohydraulik

C2.7 Feldmessungen - Geochemie

C2.8 Feldmessungen - Geomechanik

C2.9 Labor

C2.10 Untertage Geophysik

C2.11 Untertage geol. Kartierung

C2.12 Untertage Bohrungen

C2.13 Untertage In-situ-Messungen

C2.14 Untertage Labor

C3 Fließ- und Speicherparameter

C3.1 Fernerkundung

C3.2 Geophysik (übertägig)

C3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

C3.4 Geol. Kartierung

C3.5 Bohrungen

C3.6 Feldmessungen - Geohydraulik

C3.7 Feldmessungen - Geochemie

C3.8 Feldmessungen - Geomechanik

C3.9 Labor

C3.10 Untertage Geophysik

C3.11 Untertage geol. Kartierung

C3.12 Untertage Bohrungen

C3.13 Untertage In-situ-Messungen

C3.14 Untertage Labor

C4 Zwei-Phasenflussparameter

C4.1 Fernerkundung

C4.2 Geophysik (übertägig)

C4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

C4.4 Geol. Kartierung

C4.5 Bohrungen

C4.6 Feldmessungen - Geohydraulik

C4.7 Feldmessungen - Geochemie

C4.8 Feldmessungen - Geomechanik

C4.9 Labor

C4.10 Untertage Geophysik

C4.11 Untertage geol. Kartierung

C4.12 Untertage Bohrungen

C4.13 Untertage In-situ-Messungen

C4.14 Untertage Labor

D Hydrochemie

D1 Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)

D1.1 Fernerkundung

D1.2 Geophysik (übertägig)

D1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

D1.4 Geol. Kartierung

D1.5 Bohrungen

D1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

D1.7 Feldmessungen - Geochemie

D1.8 Feldmessungen - Geomechanik

D1.9 Labor

D1.10 Untertage Geophysik

D1.11 Untertage geol. Kartierung

D1.12 Untertage Bohrungen

D1.13 Untertage In-situ-Messungen

D1.14 Untertage Labor

D2 Porenwasserchemismus

D2.1 Fernerkundung

D2.2 Geophysik (übertägig)

D2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

D2.4 Geol. Kartierung

D2.5 Bohrungen

D2.6 Feldmessungen - Geohydraulik

D2.7 Feldmessungen - Geochemie

D2.8 Feldmessungen - Geomechanik

D2.9 Labor

D2.10 Untertage Geophysik

D2.11 Untertage geol. Kartierung

D2.12 Untertage Bohrungen

D2.13 Untertage In-situ-Messungen

D2.14 Untertage Labor

D3 Transporteigenschaften

D3.1 Fernerkundung

D3.2 Geophysik (übertägig)

D3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

D3.4 Geol. Kartierung

D3.5 Bohrungen

D3.6 Feldmessungen - Geohydraulik

D3.7 Feldmessungen - Geochemie

D3.8 Feldmessungen - Geomechanik

D3.9 Labor

D3.10 Untertage Geophysik

D3.11 Untertage geol. Kartierung

D3.12 Untertage Bohrungen

D3.13 Untertage In-situ-Messungen

D3.14 Untertage Labor

D4 Kolloide usw.

D4.1 Fernerkundung

D4.2 Geophysik (übertägig)

D4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

D4.4 Geol. Kartierung

D4.5 Bohrungen

D4.6 Feldmessungen - Geohydraulik

D4.7 Feldmessungen - Geochemie

D4.8 Feldmessungen - Geomechanik

D4.9 Labor

D4.10 Untertage Geophysik

D4.11 Untertage geol. Kartierung

D4.12 Untertage Bohrungen

D4.13 Untertage In-situ-Messungen

D4.14 Untertage Labor

ZITATE

PERSÖNLICH (2007): Besprechung bei SOGIN in Rom mit Sergio D'Offizi und Susanne Antignano. Es wurde ein SOGIN-Bericht zur Auswahl des Standortes ausgeliehen „Deposito nazionale centralizzato per i rifiuti radioattivi. Studio per la localizzazione di un sitio di deposito.“, Nov. 2003.

SCANZANO JONICO		Erkundungs- methoden: 1-9 übertägig 10-14 untertägig	Fernerkundung	Geophysik (übertägig)	Geophysik (im Bohrloch)	Geol. Kartierung	Bohrungen	Feldmessungen - Geohydraulik	Feldmessungen - Geochemie	Feldmessungen - Geomechanik	Labor	Geophysik	geologische Kartierung	Bohrungen	In-situ- Messungen	Labor
Inhalte der Themenkomplexe		Bezeichnungen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Regionale Geologie (20 km*20 km)																
Wirtsgestein / Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)	A1															
Stratigraphie	A2															
Strukturgeologie und Tektonik (Störungsmuster, Faltung)	A3															
Regionales Spannungsfeld	A4															
Temperatur und Wärmeleitfähigkeit	A5															
Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z.B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)	A6															
Rohstoffvorkommen	A7															
Eigenschaften des Wirtsgesteins und des Deckgebirges am Standort																
Lithologie	B1															
Geometrie (Tiefenlage, Ausdehnung)	B2															
Makro-Struktur (Großgefüge: Störungen / Faltungen / Deformationen / Klüfte)	B3															
Mikro-Struktur (Korngefüge / Porenstruktur)	B4															
In-situ-Spannungsverhältnisse	B5															
Mineralogie	B6															
Petrophysikalische Eigenschaften (Probenmaßstab):																
Gesteinsmechanik (z.B. Festigkeit, Kriechen)	B7a															
Hydraulik (z.B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)	B7b															
Diffusion	B7c															
Thermik	B7d															
THMC-Kopplung	B7e															
Chemismus (z.B. Oxidation, Adsorption)	B7f															
Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)																
Hydraulisch wirksame Einheiten	C1															
Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein	C2															
Fließ- und Speicherparameter	C3															
Zwei-Phasenfluss-Parameter	C4															
Hydrochemie																
Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)	D1															
Porenwasserchemismus	D2															
Transporteigenschaften	D3															
Kolloide usw.	D4															

Erkundungsaktivität

Standort:	WIPP (USA)
Name - Typ:	Waste Isolation Pilot Plant - weltweit erstes genehmigtes und in Betrieb befindliches Endlager für langlebige radioaktive Abfälle und Materialien mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung (long-lived radioactive wastes/materials - LLRMs), beschränkt auf Materialien aus Projekten der Nationalen Verteidigung (d.h. transuranische Abfälle TRU aus der Forschung sowie aus der Produktion von Atomwaffen)
Lage:	New Mexico (USA), ca. 40 km südöstlich von Carlsbad
Betreiber:	US Department of Energy (DOE), Carlsbad Field Office (CBFO)
Fläche:	8 Einlagerungsfelder mit Infrastruktur und In-Situ-Testbereich auf einer Grundfläche von 1.381 m x 1.586 m (lizenzierte Schutzzone rund 41 km ²)
Erschließung/ Teufenlage:	Flach lagernde Salzlagerstätte, die durch vier Schächte (Zu- und Abluft-, Salz- bzw. Abfalltransport) in einer Teufe von im Mittel 657 m erschlossen ist. Es sind 8 Einlagerungsfelder genehmigt (Panel 3 und 4 sind in Vorbereitung) - jedes Einlagerungsfeld besteht aus 7 Einlagerungskammern (h = 4 m, b = 10 m, l ≤ 91 m; Gesamtkapazität ca. 180.000 m ³).
Geologie:	<p>Die WIPP-Site liegt in einer ariden Hochebene im Südosten New Mexicos, die geologisch zum Delaware-Becken gehört. Es hat insgesamt eine Ausdehnung von ca. 33.000 km² und wird aus sedimentären Ablagerungen gebildet, die bis in eine Tiefe von 7.300 m reichen.</p> <p>Das maximal bis zu 1.200 m mächtige Wirtsgestein Steinsalz der Salado-Formation (Oberperm - ca. 255 Mio. Jahre alt; ca. 85 bis 90% NaCl) ist durch eingelagerten Anhydrit (39 Markerlinien) sowie akzessorisch Polyhalit und Kali-Mineralen mit tonig/schluffigen Einschaltungen charakterisiert.</p> <p>Die am Standort ca. 600 m mächtige Salado-Formation wird im Hangenden von der Rustler-Formation überlagert (80 bis 130 m mächtig, bestehend aus Anhydrit mit Einschaltungen von Schluffstein bzw. Dolomit mit Steinsalz). Darüber folgen verschiedenen Sandsteinformationen (Gesamtmächtigkeit des Deckgebirges ca. 300 m). Das Liegende besteht aus der bis zu 400 m mächtigen Castile-Formation, die aus einer Wechsellagerung von Anhydrit / Kalkstein / Steinsalz besteht.</p>
Historie:	<p>1974 Beginn der Standortsuche für ein Endlager im Salz in New Mexico</p> <p>1978 Zusammenfassung der Ergebnisse eines übertägigen Erkundungs- sowie Laborprogramms am Standort</p> <p>1979 Genehmigung der Errichtung der WIPP-Site als Versuchsstandort</p> <p>1981 Beginn des Schachtabteufens und Auffahrung eines Testfeldes</p> <p>1983 - 1995 Durchführung eines untertägigen Untersuchungsprogrammes mit verschiedenen In-Situ-Tests:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) Bestimmung standort-spezifischer Kenngrößen, wie z.B. zur Hohlraumkonvergenz sowie zur Gas- und Fluiddurchlässigkeit des anstehenden Steinsalzes (2) Test- und Demonstrationsversuche zu Einlagerungs- und Handhabungstechniken (3) Dichtungs- und Verschlussmaßnahmen

	<p>ab 1988 Der geowissenschaftliche Kenntnisstand wird als ausreichend für den Beginn des Genehmigungsverfahrens angesehen.</p> <p>Dez. 1993 Beginn des dreijährigen Genehmigungsverfahrens</p> <p>26.03.1999 Das erste Abfallgebinde erreicht die WIPP-Site.</p>
Literatur	<p>http://www.wipp.energy.gov/</p> <p>U.S. Department of Energy Waste Isolation Pilot Plant, "Compliance Certification Application 40 CFR 191 Subpart B and C", (October 26, 1996)</p>

WIPP, New Mexiko, USAINFO:

Die genutzte Fläche für das Endlager mit 8 Einlagerungsfeldern umfasst eine Ausdehnung von 1.381 x 1.586 m. Die lizenzierte Schutzzone beträgt rund 41 km².

Die WIPP-Site ist eine der am besten untersuchten geschichteten Evaporit-Gebiete der Welt. Die regionale Geologie ist bekannt durch Ausbisse im westlichen Delaware-Becken und Ergebnisse der Erdölexploration (Gravimetrie, Aeromagnetik, Reflexionsseismik). Außerdem liegen durch den Kali- und Salzbergbau zahlreiche Bohrlöcher und Tausende von Meilen an Stollen vor.

Kriterien für die Auswahl des Standortes sind:

- *möglichst reine Salzlagerstätte*
- *mehrere 100 ft mächtig*
- *Tiefe zwischen 1.000 und 3.000 ft*
- *die Lösung durch Grundwasser ist begrenzt*
- *mindestens 1 Meile entfernt von Bohrungen, die die Evaporite durchstoßen*
- *privaten Landbesitz vermeiden*
- *möglichst flache Lagerung*
- *möglichst geringer Konflikt mit anderen Lagerstätten*

A Regionale Geologie (20 km x 20 km)**A1 Wirtsgestein/Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)****A1.1 Fernerkundung****A1.2 Geophysik (übertägig)****A1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A1.4 Geol. Kartierung**

Das Gebiet wurde übertägig umfassend kartiert und die Ergebnisse mit den Bohrungsinformationen abgeglichen.

WEART (1983)

Qualität: 2 Quantität: 1 (Mindestquantität angenommen)

Qualität: Abschätzung der Stufe 2, die Kartierung basierte auf bestehenden Karten, deren Maßstab unbekannt ist. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass bei der Kartierung Messwerte erhoben wurden.

A1.5 Bohrungen**A1.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A1.7 Feldmessungen - Geochemie****A1.8 Feldmessungen - Geomechanik****A1.9 Labor****A1.10 Untertage Geophysik****A1.11 Untertage geol. Kartierung****A1.12 Untertage Bohrungen****A1.13 Untertage In-situ-Messungen****A1.14 Untertage Labor**

A2 Stratigraphie**A2.1 Fernerkundung****A2.2 Geophysik (übertägig)****A2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A2.4 Geol. Kartierung**

Die Standortauswahl basiert auf einer umfassenden regionalen Erkundung des nördlichen Teils des Delaware-Beckens, wo bereits umfangreiche Kenntnisse aus der Erdöl- und Kalisalz-Exploration vorlagen (WEART, 1996). Nachdem sich die ursprünglich favorisierte Lokation aufgrund der Befunde von zwei zusätzlichen Bohrungen, die starke tektonische Einwirkungen der Salado- und Castile-Formation zeigten, als ungeeignet erwies, wurde ein ca. 8 km SW gelegener Standort, die WIPP-Site, ausgewählt. Zur Charakterisierung wurden zwischen 1975 und 1980 57 Bohrungen, mit dem Ziel der Gewinnung geologischer und hydrogeologischer Daten für eine verbesserte Interpretation geophysikalischer Daten abgeteuft.

POWERS et al., 1978; HILL et al. (1997)

Das Gebiet wurde umfassend kartiert und dabei stratigraphisch eingeordnet.

WEART (1983)

Qualität: 2 Quantität: 1 (Mindestquantität angenommen)

Qualität: Abschätzung der Stufe 2, die Kartierung basierte auf bestehenden Karten, deren Maßstab unbekannt ist. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass bei der Kartierung Messwerte erhoben wurden.

A2.5 Bohrungen**A2.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A2.7 Feldmessungen - Geochemie****A2.8 Feldmessungen - Geomechanik****A2.9 Labor****A2.10 Untertage Geophysik****A2.11 Untertage geol. Kartierung****A2.12 Untertage Bohrungen****A2.13 Untertage In-situ-Messungen****A2.14 Untertage Labor****A3 Strukturgeologie und Tektonik****A3.1 Fernerkundung****A3.2 Geophysik (übertägig)**Seismik:

Es wurden 1.500 Meilen Reflexionsseismik aus der Kohlenwasserstoffexploration zur strukturellen Erkundung in Tiefen > 4.000 ft angekauft. Für geringere Erkundungstiefen (< 5.000 ft) wurden Vibroseis-Messungen durchgeführt. Die Vibroseis-Messungen lieferten gute Informationen zur Castile-Formation, Top Salado war jedoch schwierig zu bestimmen; es ergaben sich fehlerhafte Tiefen. Zur Bestimmung der Verwitterungsschicht wurden refraktionsseismische Messungen durchgeführt.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (DOE, 1980)

Es wurden Vibroseis-Messungen in 3 Messkampagnen zur Strukturerkundung auf insgesamt 77 Profileilen durchgeführt, davon liegen 72 Meilen nahe der WIPP-Site. Die Processing-Sequenz ist jeweils angegeben.

Profil	1976SAN	77X	78Y
Profillänge	25 Meilen	47 Meilen	5 Meilen
Geophongruppenabstand	220 ft	110 ft	110 ft
Anregungspunktabstand	220 ft	110 ft	110 ft
Kanalanzahl	48	24	24
nomineller Überdeckungsgrad	24	12	12
Abtastintervall	4 ms	2 ms	2 ms
Aufstellungsweite	-5.060 +5.060 ft	-1.650 ... -440 ft 440 ... 1.650 ft	-1.440 ... -110 ft 110 ... 1.440 ft
Quelle Signalspektrum	4 Vibratoren 8 - 38 Hz	4 Vibratoren 25 - 100 Hz	1 Vibrator 25 - 100 Hz

HERN, POWERS & BARROWS (1979)

Messung von 4 Vibroseis-Profilen durchgeführt (Parameter stimmen z.T. nicht mit den Angaben von HEM et al. (1979) überein).

Profil	76SAN	77X	78Y	78GG
Mess-Kontraktor	Dresser Olympic	Dresser Olympic	CXC Inc.	Grant Geophysical Corp.
Messdatum	1976	1977	1978	1978
Profillänge	25 Meilen	47 Meilen	5 Meilen	74 Meilen 20 parallele Linien im ¼-Meile-Abstand
Geophongruppenabstand	220 ft	110 ft	110 ft	110 ft
Anregungspunktabstand	220 ft	220 ft	110 ft	220 ft
Kanalanzahl	48	24	24	24
nomineller Überdeckungsgrad	24	12	12	12
Abtastintervall	4 ms	2 ms	2 ms	2 ms
Aufstellungsweite	-5.940 ... -880 ft 880 ... 5.940 ft	-1.650 ... -440 ft 440 ... 1.650 ft	-1.440 ... -110 ft 110 ... 1.440 ft	-1.650 ... -440 ft 440 ... 1.650 ft
Quelle Signalspektrum	4 Vibratoren 8 - 30 Hz	3 - 4 Vibratoren 25 - 100 Hz	1 Vibrator 25 - 100 Hz	3 - 4 Vibratoren 25 - 100Hz

Hinzu kommen noch 2 hochauflösende seismische Profile (79EX und 80EX) mit einer Gesamtlänge von 2,3 Meilen.

Zur Ermittlung der seismischen Geschwindigkeiten wurden in mehreren Bohrlöchern Geophonversenkmessungen durchgeführt. Als Quellen wurden sowohl Explosiva in ca. 100 ft tiefen Schusslöchern als auch Vibratoren an der Erdoberfläche eingesetzt.

BORNS, BARROWS, POWERS, & SNYDER (1983)

Bis Juni 1980 wurden insgesamt 152 Meilen Reflexionsseismik durchgeführt.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (DOE, 1980)

Qualität: 2 Quantität: 2

Magnetik:

In der Nähe der WIPP-Site (9 Meilen NW) ist aus der Kohlenwasserstoffexploration sowie dem Kali- und Salzbergbau ein langer linearer tertiärer Gang (dyke) bekannt. Untersuchungen im Rahmen der Charakterisierung der WIPP-Site sollen Aussagen zur Genese des Ganges und zu strukturellen Veränderungen innerhalb der letzten Millionen Jahre liefern sowie mögliche parallele Strukturen entdecken. Da der Trachyt-Gang relativ starke magnetische Eigenschaften aufweist, wurden magnetische Kartierungen durchgeführt, um die Geometrie des Körpers zu bestimmen und vergleichbare Strukturen mit gleichen Materialeigenschaften zu erkennen. Die Länge des Ganges beträgt ca. 45 Meilen (Ergebnisse aus anderen Untersuchungen (Ausbiss, Bohrung) geben eine Länge von bis zu 75 Meilen an). Die Tiefe reicht von 12.000 bis 13.000 ft (Basement) bis an die Erdoberfläche, mit Unterbrechungen in verschiedenen Tiefen; seine Breite in Oberflächennähe beträgt 15 bis 30 ft. Der Wall kann durch die Schichten des Endlagers ragen.

Datengrundlage sind die Ergebnisse aeromagnetischer Messungen aus den Jahren 1963/64 und 1960, die beide angekauft wurden:

1963/64: Flughöhe 5.000 ft ü. NN (= 1.500 bis 2.000 ft über Grund), Ost-West ausgerichtete Linien, Linienabstand 1 Meile, Totalfeldmessung mit Fluxgate-Magnetometer (Genauigkeit 1 Gamma), Karten im Maßstab 1 : 96.000

1960: Flughöhe 500 ft über Grund, Ost-West ausgerichtete Linien, Linienabstand 1 Meile, Totalfeldmessung mit Fluxgate-Magnetometer (Genauigkeit 2 Gamma), Karten im Maßstab 1 : 250.000

Beide Datensätze weisen eine vergleichbare, sehr gute Datenqualität auf. Für die Erkundung der schmalen Struktur sind die Daten mit geringer Flughöhe besser geeignet. Es wird empfohlen, die Messungen mit moderner Technik zu wiederholen.

ELLIOT GEOPHYSICAL COMPANY (1976)

Lösungsbedingte Einsturzstrukturen konnten nicht eindeutig durch magnetische (Aero- und Boden-) Messungen ermittelt werden.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (DOE, 1980)

In einzelnen Bereichen der gravimetrischen Untersuchungsfläche wurden ebenfalls magnetische Messungen durchgeführt.

BARROWS, SHAFFER, MILLER & FETT (1983)

Qualität: 2 Quantität: 2

Gravimetrie :

Auf einer rechteckigen Untersuchungsfläche (2 Meilen x 4 1/3 Meilen) wurden 13 Nord-Süd-verlaufende Linien mit jeweils 880 ft Abstand gemessen. Der Stationsabstand betrug 239 ft. In einem kleinen Gebiet wurde zusätzlich ein quadratisches Gitter mit einem Stationsabstand von 1/18 Meilen angelegt. Als Gravimeter wurde ein LaCoste & Romberg Model D verwendet, die relative Genauigkeit der Messungen betrug 0,02 mgal. Es wurden 3 semi-permanente Basisstationen, 3 temporäre Basisstationen und eine Hauptbasisstation an einer Bohrung angelegt. Die Werte wurden an das Welt Gravimetrie Netz (Station in Carlsbad) angeschlossen. Die Einmessung erfolgte mit einem Hewlett Packard 3820A Laser Abstandsmesser und Theodolit.

Primäres Ziel der Gravimetrie war die Kartierung geologischer Strukturen. Ergebnis ist eine Bouguer-Schwerekarte. Der lineare regionale Trend sowie ein parabolischer Trend wurden entfernt und verschiedene Wellenlängenfilterungen berechnet.

Die Daten wurden von lateralen Dichteveriationen (wasser- und luftgefüllte Karsthohlräume) oberflächennaher, nahezu horizontal liegender Schichten dominiert. Die langwelligen gravimetrischen Anomalien korrelieren gut mit denen im Zeitbereich interpretierten seismischen Strukturen der Ochoan-Serie. Kurzwellige gravimetrische Anomalien wurden als Dichtewechsel in Karsteinlagerungen interpretiert. Die Störungszone (DZ) konnte nicht aufgelöst werden. Sie sollte eine Halbwertsbreite von ca. 2 km und eine Anomalie von ein paar Zehntel Milligal aufweisen. Zur Erfassung eines regionalen Trends wurden gravimetrische Daten aus dem nördlichen Delaware-Becken mit einem Stationsabstand von 1/4 Meile und einem Linienabstand von 1 Meile aus der Erdölexploration aufgekauft. Den größten Einfluss auf die Daten hatte der regionale Trend. Topographische Korrekturen wurden nach der Methode von HAMMER berechnet. Ihre Größen von maximal 0,041 mgal und durchschnittlich 0,02 mgal sind klein gegenüber den gemessenen Anomalien von mehreren Hundert Milligal. Die Interpreta-

tion der gravimetrischen Messdaten wird durch die Modellierung der Schwerewirkung einfacher geometrischer Körper unterstützt. Gravimetrische und seismische Daten werden gemeinsam interpretiert.

BARROWS, SHAFFER, MILLER, & FETT (1983); BORNS, BARROWS, POWERS, & SNYDER (1983)

Qualität: 2 Quantität: 2

Trotz quantitativer Interpretation nur Qualität 2, da nur einfache geometrische Körper für die Modellierung verwendet wurden.

Geoelektrik: (s. B3.2)

A3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A3.4 Geol. Kartierung

Eine Kartierung der Störungen im Bereich der Guadalupe Mountains von 1971 wurde 1979 durch eine nochmalige Geländeaufnahme überarbeitet.

WEART (1983)

Qualität: 2 Quantität: 1 (Mindestquantität angenommen)

Qualität: Abschätzung der Stufe 2, die Kartierung basierte auf bestehenden Karten, deren Maßstab unbekannt ist. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass bei der Kartierung Messwerte erhoben wurden.

A3.5 Bohrungen

A3.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A3.7 Feldmessungen - Geochemie

A3.8 Feldmessungen - Geomechanik

A3.9 Labor

A3.10 Untertage Geophysik

A3.11 Untertage geol. Kartierung

A3.12 Untertage Bohrungen

A3.13 Untertage In-situ-Messungen

A3.14 Untertage Labor

A4 Regionales Spannungsfeld

A4.1 Fernerkundung

A4.2 Geophysik (übertägig)

A4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A4.4 Geol. Kartierung

A4.5 Bohrungen

A4.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A4.7 Feldmessungen - Geochemie

A4.8 Feldmessungen - Geomechanik

A4.9 Labor

A4.10 Untertage Geophysik

A4.11 Untertage geol. Kartierung

A4.12 Untertage Bohrungen

A4.13 Untertage In-situ-Messungen

A4.14 Untertage Labor**A5 Temperatur und Wärmeleitfähigkeit****A5.1 Fernerkundung****A5.2 Geophysik (übertägig)****A5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A5.4 Geol. Kartierung****A5.5 Bohrungen****A5.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A5.7 Feldmessungen - Geochemie****A5.8 Feldmessungen - Geomechanik****A5.9 Labor****A5.10 Untertage Geophysik****A5.11 Untertage geol. Kartierung****A5.12 Untertage Bohrungen****A5.13 Untertage In-situ-Messungen****A5.14 Untertage Labor****A6 Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z. B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)****A6.1 Fernerkundung****A6.2 Geophysik (übertägig)**

Die technische Aufzeichnung von Erdbeben in der Region erfolgt seit 1961.

Es werden für die USA Karten mit von Erdbeben verursachten maximalen horizontalen Beschleunigungen und Geschwindigkeiten erstellt. Dabei werden Zeiträume von 10, 50 und 250 Jahren bei einer Nicht-Auftretens-Wahrscheinlichkeit von 90% berücksichtigt. Diese Karten unterscheiden sich gegenüber älteren Versionen, da durch eine größere geologische Datenbasis der Bereich der seismischen Quelle besser berücksichtigt werden konnte. Die Erdbeben werden als Bruchzone (fault rupture), Punktquelle oder Kombination aus beidem modelliert. Die Ergebnisse sind:

- Unterteilung der USA in verschiedene Gebiete seismischer Aktivität
- unterschiedliche Störungsmodellierung (Punktquelle, Bruchquelle (rupture source), Einzelstörung, multiple Störungen)
- unterschiedliche Dämpfungsfaktoren
- Variabilität in den Beziehungen zwischen Bruchzonenlänge und Magnitude
- Variabilität in den Dämpfungsfunktionen

ALGERMISSEN & PERKINS (1976)

Eine Studie über Erdbeben im Permbecken von Texas und New Mexiko, ca. 100 km entfernt von der geplanten WIPP-Site zeigt, dass sich die Erdbeben auf das zentrale Becken konzentrieren und nur vereinzelt im Delaware-Becken auftreten. Ein Zusammenhang mit der Erdölförderung und der Injektion von Wasser wird hergeleitet. Datenbasis ist die Aufzeichnung historischer Beben sowie der Beben aufgezeichnet an den Stationen in Socorro, New Mexico (SNM) sowie einer temporären Station im Untersuchungsgebiet.

ROGERS & MALKIEL (1979)

Betrachtungen zur Erdbebengefährdung: Die WIPP-Site ist ein Gebiet geringer seismischer Aktivität. Durch die Erdölförderung und die Injektion von Wasser induzierte Erdbeben haben eine geringe Magnitude und sind keine Gefahr für das Endlager.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (DOE, 1980)

Die Seismizität wurde betrachtet und für weitere Begutachtungen, aufgrund der geringen Konsequenzen für das Endlager, herausgenommen. Hauptgrund dafür ist die viel zu geringe Bodenbewegung im Untergrund im Vergleich zu der an der Erdoberfläche. Außerdem sind im Salz, anders als im Festgestein, kaum Verschiebungen durch Brüche zu erwarten. Belegt durch seismologische Aufzeichnungen, mikroseismische Studien und die Geologie sind an und in der Nähe der WIPP-Site keine größeren Erdbeben zu erwarten.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) (1998)

Im Jahr 2000 wurden 52 seismische Ereignisse im Umkreis von 300 Meilen um die WIPP-Site registriert. Die stärkste Magnitude war 2,5 lokalisiert 50 Meilen WNW von der WIPP-Site. Es wird angenommen, dass flache Ereignisse mit kleiner Magnitude durch die Kohlenwasserstoffförderung ausgelöst werden. Die Überwachung erfolgt durch ein Netzwerk mit sieben Stationen. Falls erforderlich, werden weitere Netzwerke im Rio Grande Graben hinzugenommen. Bestimmt werden Erdbebenzeit, Epizentrum und Magnitude.

Die Aktivitäten zur Kohlenwasserstoffexploration und -förderung (seismische Exploration, Bohrungen, Erdölförderung, Pipelinebau...) im Bereich der WIPP-Site werden innerhalb eines Kreises von 1 Meile 2-mal pro Monat beobachtet.

ENVIRONMENTAL SCIENCE AND RESEARCH FOUNDATION (ESRF), INC. (2000)

Die Betrachtungen zur Abschätzung des Risikos durch Erdbeben wurden ausgehend von ALGERMISSEN et al. (1979) verfeinert und die Zonierung leicht modifiziert. Die seismischen Kriterien für den Betrieb von Kernkraftwerken können aufgrund der Einzigartigkeit der Anlage in Planung und Funktion nicht angewandt werden. Für verschiedene tektonische Einheiten wird eine 1.000-Jahr-Spitzenbeschleunigung angegeben.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (DOE) (2001)

In die Berechnung von Erdbeben induzierten Setzungen gingen die aus den cross-hole surveys berechneten Schermodule ein. Außerdem wurden auf der Basis realer Erdbebenaufzeichnungen synthetische Erdbeben mit einer Dauer von 24 s, einer maximalen Beschleunigung von 1 g und einer maximalen integrierten Geschwindigkeit von 5 ft/s simuliert. Der durch seismische Kräfte (Erdbeben) verursachte laterale dynamische Erddruck auf vertikale Wände wurde berechnet.

BECHTEL NATIONAL INC. (1979)

Qualität: 2 Quantität: 2

A6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A6.4 Geol. Kartierung

A6.5 Bohrungen

A6.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A6.7 Feldmessungen - Geochemie

A6.8 Feldmessungen - Geomechanik

A6.9 Labor

A6.10 Untertage Geophysik

A6.11 Untertage geol. Kartierung

A6.12 Untertage Bohrungen

A6.13 Untertage In-situ-Messungen

A6.14 Untertage Labor

A7 Rohstoffvorkommen

A7.1 Fernerkundung

A7.2 Geophysik (übertägig)

Es wurden Abschätzungen zu den Erdöl- und Erdgasreserven, basierend auf der strukturellen Interpretation seismischer Daten getroffen.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (DOE) (1980)

Qualität: 1 Quantität: 2

A7.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Im Gebiet der WIPP-Site sind keine alten oder aktiven Erdöl produzierenden Bohrungen vorhanden. Es existieren aber aufgelassene Explorationsbohrungen; die WIPP-Site ist von 60 produzierenden und 85 weiteren aufgelassenen Bohrungen auf einer Fläche von 368 Quadratmeilen umgeben. Es gibt aber bis zu 15, zur Erschließung möglicher Erdölreserven geplante Bohrlokationen im Gebiet der WIPP-Site.

KEESEY (1976)

Qualität: 1 Quantität: 1

A7.4 Geol. Kartierung**A7.5 Bohrungen****A7.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A7.7 Feldmessungen - Geochemie****A7.8 Feldmessungen - Geomechanik****A7.9 Labor****A7.10 Untertage Geophysik****A7.11 Untertage geol. Kartierung****A7.12 Untertage Bohrungen****A7.13 Untertage In-situ-Messungen****A7.14 Untertage Labor*****B Eigenschaften des Wirtsgesteins und des Deckgebirges am Standort*****B1 Lithologie/Stratigraphie****B1.1 Fernerkundung****B1.2 Geophysik (übertägig)****B1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

siehe auch C1.3

Um mehr Erkenntnisse zur Kalilagerstätte der WIPP-Site zu gewinnen, wurden 21 Erkundungsbohrungen (insges. 11.197 Bohrmeter) abgeteuft. In allen Bohrungen wurden über die gesamte Bohrstrecke geophysikalische Messungen durchgeführt. Gamma Ray zur Erkennung von Kalium und anderen radioaktiven Elementen, Gamma-Gamma zur Bestimmung der Gesteinsdichte sowie Neutron-Log zur Wassersättigung.

JONES (1978)

Neben den 21 Bohrlöchern zur Erkundung der Kalilagerstätte, wurden 16 Bohrlöcher zur stratigraphischen Information sowie 15 Bohrlöcher zur Abgrenzung der Salzlösung abgeteuft.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (DOE) (1980)

Die Untersuchung der Rustler-Formation in der Nähe der WIPP-Site erfolgte anhand von ca. 600 geophysikalischen Logs (Gamma Ray, Sonic Density, Neutron).

HOLT & POWERS (1988)

Qualität: 2 Quantität: 2

B1.4 Geol. Kartierung

Bei der lithologischen Überarbeitung des Untersuchungsgebietes wurden die Informationen aus Kartierungen von 1963 und 1974 berücksichtigt. Die Karten sind in der Veröffentlichung mit einer Skalenleiste versehen; Angaben über den Bearbeitungs- bzw. Erstellungsmaßstab fehlen.

POWERS (1978)

Qualität: 2 Quantität: 2

Qualität: Abschätzung der Stufe 2, die Kartierung basierte auf bestehenden Karten, deren Maßstab unbekannt ist. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass bei der Kartierung Messwerte erhoben wurden.

Quantität: Abschätzung der Stufe 2, da die Skalenleiste und die Detaillierung der Karte ungefähr einem Maßstab zwischen 1 : 50.000 und 1 : 25.000 entsprechen.

B1.5 Bohrungen

In der Vorerkundungsphase wurde auf Basis der Bohrung ERDA-9 sowie später den Schachtvorbohrungen eine Referenzstratigraphie für das Deckgebirge bzw. die Salado-Formation erarbeitet (POWERS et al. 1978; KRIEG 1984). Diese wurde später insbesondere für den Einlagerungshorizont auf Basis der In-situ-Untersuchungen präzisiert.

MUNSON et al. (1989); HOLT & POWERS (1990a)

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B1.7 Feldmessungen - Geochemie

B1.8 Feldmessungen - Geomechanik

B1.9 Labor

B1.10 Untertage Geophysik

B1.11 Untertage geol. Kartierung

In den 4 Schächten wurden während des Vortriebs geologisch/strukturelle Stoßaufnahmen und detaillierte Probenahmen durchgeführt.

HILL et al. 1997; HOLT & POWERS 1990b

Eine weitergehende Präzisierung des Standardprofils, insbesondere des Einlagerungshorizontes, wurde auf Basis der In-situ-Untersuchungen vorgenommen.

MUNSON et al. 1989

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.12 Untertage Bohrungen

B1.13 Untertage In-situ-Messungen

B1.14 Untertage Labor

B2 Geometrie**B2.1 Fernerkundung****B2.2 Geophysik (übertägig)****B2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B2.4 Geol. Kartierung**

Im Rahmen von Erkundungskartierungen wurde die Geometrie der anstehenden Gesteine erfasst und in Form von Kontur- und Isopachenkarten dokumentiert.

POWERS (1978)

Qualität: 2 Quantität: 2

Qualität: Abschätzung der Stufe 2, die Kartierung basierte auf bestehenden Karten, deren Maßstab unbekannt ist. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass bei der Kartierung Messwerte erhoben wurden.

Quantität: Abschätzung der Stufe 2, da die Skalenleiste und die Detaillierung der Karte ungefähr einem Maßstab zwischen 1 : 50.000 und 1 : 25.000 entsprechen.

B2.5 Bohrungen

71 Bohrungen werden zum GW-Monitoring genutzt. Insgesamt wurden 112 Bohrungen im WIPP-Bereich für geologische und hydrogeologische Untersuchungen abgeteuft, außerdem mehr als 60 Flachbohrungen im Lockergestein und 12 GWM mit Piezometern.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (2003)

112 Bohrungen: Qualität: 2 (unbekannte Bohrverfahren) Quantität: 2

60 Flachbohrungen und GWM: Qualität: 2 (unbekannte Bohrverfahren) Quantität: 2

B2.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B2.7 Feldmessungen - Geochemie****B2.8 Feldmessungen - Geomechanik****B2.9 Labor****B2.10 Untertage Geophysik****B2.11 Untertage geol. Kartierung****B2.12 Untertage Bohrungen****B2.13 Untertage In-situ-Messungen****B2.14 Untertage Labor****B3 Makro-Struktur****B3.1 Fernerkundung****B3.2 Geophysik (übertägig)**

Es wurden Widerstandsmessungen von der Erdoberfläche aus, zur Erkennung von Einbruchstrukturen und mit Brekzien gefüllten Röhren (breccia pipes) durchgeführt. Diese umfassten 54 Schlumberger-Sondierungen an 31 Lokationen zur Ermittlung der vertikalen Widerstandsverteilung. Dabei stehen üblicherweise 2 Sondierungen an einer Lokation senkrecht aufeinander; eine Sondierung besteht aus 25 bis 31 Messstationen.

Die Ermittlung der lateralen Widerstandsänderungen erfolgte anhand von Kartierungen (gradient array profiling) auf 69 Profilen mit einer Länge zwischen 4 und 6 Meilen. Die Gesamtlänge beträgt 391 Meilen mit insgesamt 9.880 Messstationen in einem Gebiet von 37 Quadratmeilen. Die ermittelten Anomalien wurden klassifiziert:

Klasse I: Wasserfluss entlang der Lösungsfront am Top der Salado-Formation
Klasse II: Bereiche erhöhter Porosität und Feuchtigkeit
Klasse III: noch keine Interpretation
Klasse IV: fasst andere Indikationen zusammen, die noch überprüft werden müssen

Die von der Erdoberfläche ausgemessenen Widerstände stimmten gut mit den entsprechenden Werten aus Bohrlochmessungen überein. Allerdings passten die erbohrten Formationsgrenzen nicht immer zu den Widerstandsgrenzen.

ELLIOT GEOPHYSICAL COMPANY (1977)

Geelektrische Untersuchungen im Vorfeld von TDEM-Messungen (C2.2) waren:

- CSAMT in der Umgebung einer Bohrung (WIPP 12)
- DC-Geelektrik und Elektromagnetik
- Elektromagnetik mit Geonics EM-31 und EM-34

Die mit den verschiedenen elektrischen und elektromagnetischen Verfahren ermittelten Parameter an der WIPP-Site stimmten weitestgehend überein.

EARTH TECHNOLOGY CORPORATION (1988)

Qualität: 2 Quantität: 2

B3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B3.4 Geol. Kartierung

B3.5 Bohrungen

B3.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B3.7 Feldmessungen - Geochemie

B3.8 Feldmessungen - Geomechanik

B3.9 Labor

B3.10 Untertage Geophysik

B3.11 Untertage geol. Kartierung

B3.12 Untertage Bohrungen

B3.13 Untertage In-situ-Messungen

B3.14 Untertage Labor

B4 Mikro-Struktur

B4.1 Fernerkundung

B4.2 Geophysik (übertägig)

B4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B4.4 Geol. Kartierung

B4.5 Bohrungen

B4.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B4.7 Feldmessungen - Geochemie

B4.8 Feldmessungen - Geomechanik

B4.9 Labor

B4.10 Untertage Geophysik

B4.11 Untertage geol. Kartierung

B4.12 Untertage Bohrungen**B4.13 Untertage In-situ-Messungen****B4.14 Untertage Labor****B5 In-situ-Spannungsverhältnisse****B5.1 Fernerkundung****B5.2 Geophysik (übertägig)****B5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B5.4 Geol. Kartierung****B5.5 Bohrungen**

Informationen zu Spannungsmessungen in Bohrlöchern (z.B. Hydrofrac-Tests oder Bore-hole break-outs) sind nicht bekannt.

zum lithostatischen Spannungswert s. B5.8

B5.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B5.7 Feldmessungen - Geochemie****B5.8 Feldmessungen - Geomechanik**

Auf Basis des über das lithologische Teufenprofil (mittlere Dichte der verschiedenen stratigraphischen Einheiten entsprechend der Bohrkernbeprobung bzw. geophysikalischen Messungen) abgeschätzten Spannungsgradienten wurde ein lithostatischer Spannungswert von 14,9 MPa für eine mittlere Teufe von 657 m unter der Oberfläche bestimmt.

Qualität: Abschätzung der Stufe 1

Quantität: Abschätzung der Stufe 1

B5.9 Labor**B5.10 Untertage Geophysik****B5.11 Untertage geol. Kartierung****B5.12 Untertage Bohrungen****B5.13 Untertage In-situ-Messungen**

Zur Bestimmung des In-situ-Spannungszustandes des anstehenden Salzgebirges sowie der Anhydrit-einschlaltungen wurden an drei verschiedenen Stellen Hydrofractests in horizontalen Bohrlöchern durchgeführt. Basierend auf der Analyse der Aufreissfestigkeiten bzw. der Ruhedrucke wurde ein mittlerer Spannungswert von $16,7 \text{ MPa} \pm 2 \text{ MPa}$ bestimmt, der näherungsweise gut mit der lithostatischen Spannung von $\sim 14,9 \text{ MPa}$ für eine mittlere Teufe von 657 m unter der Oberfläche, auf Basis des aus dem lithologischen Teufenprofil abgeleiteten Spannungsgradienten, übereinstimmt. Das generelle Spannungsfeld im Steinsalz wird als quasi-isotropisch angenommen, was auch durch die Analyse der erzeugten Hydrofrac-Risse gestützt wird (WAWERSIK et al. 1997).

In den Anhydritlagen wurden deutlich niedrigere Spannungswerte bestimmt ($< 13 \text{ MPa}$), was z.T. auf die Spannungseinwirkungen benachbarter Kammern bzw. die geologisch / strukturellen Gegebenheiten des flach lagernden Salzgebirges zurückgeführt wurde. Die gemessenen Werte korrespondieren mit kleinsten vertikal gerichteten Hauptspannungskomponenten von ca. 12,4 MPa. In horizontaler Richtung wurden ca. 13 MPa abgeschätzt, d.h. ca. 2 MPa niedriger als der lithostatisch abgeschätzte Spannungswert.

WAWERSIK et al. (1997)

Qualität: Abschätzung der Stufe 2, da keine Ergebnisse von alternativen Testverfahren bekannt sind.

Quantität: Abschätzung der Stufe 2 - keine hinreichenden Messungen zum räumlichen Spannungszustand.

B5.14 Untertage Labor**B6 Mineralogie****B6.1 Fernerkundung****B6.2 Geophysik (übertägig)****B6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B6.4 Geol. Kartierung****B6.5 Bohrungen****B6.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B6.7 Feldmessungen - Geochemie****B6.8 Feldmessungen - Geomechanik****B6.9 Labor****B6.10 Untertage Geophysik****B6.11 Untertage geol. Kartierung****B6.12 Untertage Bohrungen****B6.13 Untertage In-situ-Messungen****B6.14 Untertage Labor****B7 Petrophysikalische Eigenschaften****B7a Gesteinsmechanik****B7a.1 Fernerkundung****B7a.2 Geophysik (übertägig)**

Es wurden refraktionsseismische Messungen (Netz aus 11 Profilen) sowie cross-hole surveys und Geschwindigkeitsmessungen in 9 flachen Bohrungen durchgeführt. Ziel war die Bestimmung von Kompressions- und Scherwellengeschwindigkeiten bis in eine Tiefe von ca. 100 ft, um damit die dynamischen elastischen Eigenschaften des oberflächennahen Untergrundes zu berechnen.

BECHTEL NATIONAL INC. (1979)

Qualität: 2 Quantität: 2

B7a.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**B7a.4 Geol. Kartierung****B7a.5 Bohrungen****B7a.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7a.7 Feldmessungen - Geochemie****B7a.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7a.9 Labor**

In dem ersten gesteinsmechanischen Untersuchungsprogramm aus dem Jahr 1975 wurden durch RESPEC gesteinsmechanische Laboruntersuchungen an Bohrkernen der Bohrungen AEC7 und ERDA9 durchgeführt (SENSENY 1990; POWERS & MARTIN 1993). Das Untersuchungsprogramm umfasste folgende Testserien:

- quasi-statische Tests - Verformungsversuche mit quasi-konstanter Belastungsrate unter triaxialer Einspannung bei Raumtemperatur bzw. erhöhter Temperatur mit Bestimmung der axialen Längendehnung bei gegebener Belastung - 4 Proben (bei 28°C bzw. 100°C \Rightarrow Bestimmung E und ν)

- Kriechversuch - Langzeitversuche unter konstanten Spannungs- und Temperaturbedingungen (zumeist 1 Belastungsstufe) mit gleichzeitiger Messung der Volumendehnung - 39 Proben \Rightarrow Bestimmung der stationären Kriechrate sowie der Volumen- und Querdehnung

Qualität: Abschätzung der Stufe 2, da das Testequipment entsprechend des in der Literatur MELLEGARD & MUNSON (1997) dokumentierten Sachstandes nachfolgend erheblich verbessert wurde.

Quantität: Abschätzung der Stufe 2, da die Daten noch keine hinreichende Basis für Stoffgesetzentwicklung und Parameterbestimmung darstellte.

B7a.10 Untertage Geophysik

B7a.11 Untertage geol. Kartierung

B7a.12 Untertage Bohrungen

B7a.13 Untertage In-situ-Messungen

Ziel des untertägigen WIPP-Test-Programms war die Gewinnung einer hinreichenden Datenbasis, schwerpunktmäßig geomechanisch/geohydraulisch, zum Verständnis der auftretenden Prozesse, die als relevant für die Planung, Konstruktion, den Betrieb und die Stilllegung sowie den Verschluss des Endlagers als notwendig angesehen wurden. Insbesondere gehört dazu auch die Entwicklung geeigneter Modellcodes und die Bestimmung entsprechender Parametersätze für die Prognose des Konvergenzverhaltens der mit Abfallgebinden gefüllten Hohlräume in den Einlagerungsfeldern (MATHEWS & ERIKSSON, 2003). Die Messkampagnen konzentrierten sich auf das speziell aufgefahrene Testfeld mit 12 Testorten bzw. Kammern im Norden des Endlagers. Die in ihrer zeitlichen Abfolge durchgeführten Großtests (vgl. Tabelle) konzentrierten sich jeweils auf spezifische Untersuchungsfragen, d.h. Gesteinscharakterisierung (Geomechanik, Permeabilität), Spannungszustand, thermische Wechselwirkungen Einlagerergebinde/Wirtsgestein sowie Verschlusstechniken.

Tabellarische Übersicht über Großversuche (für Details s. MUNSON et al., 1997)

A	18W/m DHLW-Mockup
B	Defense high level Waste Overtest
C	Intermediate Scale Rock Mechanics and Permeability Tests
D	Mining Development
G	Geomechanical Evolution
H	Heated pillar
J	Simulated CHTRU Tests (Wet) and Materials Interface Interaction Tests (MIIT)
L	Plugging and Sealing
M	Small Scale Seal Performance Tests
T	Simulated CH and RH Tests
Q	Circular Brine Room tests
V	AIR Intake Shaft Performance test

	SPDV	Technology Experiments	Demonstrations
Site Characterization and Evaluation	<ul style="list-style-type: none"> ● Site Validation Investigation 	<ul style="list-style-type: none"> ● Hydrological and Geological Studies 	
Repository Development			
Thermal/Structural Interactions	<ul style="list-style-type: none"> ● Preliminary Design Validation 	<ul style="list-style-type: none"> ● 18 W/m² Mockup ● DHLW Overtest ● Geomechanical Evaluations ● Heated Axisymmetric Pillar ● In Situ Stress Field ● Direct Shear of Clay Seam (not performed) ● Air Intake Shaft Performance Tests ● Intermediate Scale Borehole Test 	
Plugging and Sealing		<ul style="list-style-type: none"> ● Permeability Tests ● Plug Test Matrix ● Field (Borehole) Tests ● Gas Testing ● Small-Scale Seal Tests 	
Operations			<ul style="list-style-type: none"> ● Mock TRU Waste Handling
Waste Package Interactions			
Waste Package Performance		<ul style="list-style-type: none"> ● Simulated-Waste Package Performance ● Simulated TRU Waste Technology Experiments 	
Near-Field Effects		<ul style="list-style-type: none"> ● Brine Migration ● Large Scale Brine Inflow Test 	

Abb.: In-situ-Testmatrix WIPP (aus MUNSON et al. 1997, Figure 1.0.2)

Qualität: 3 Quantität: 3

Qualität: Abschätzung der Stufe 3 entsprechend des in der Literatur MUNSON et al. (1997) dokumentierten Testlayouts und der Instrumentierung.

Quantität: Abschätzung der Stufe 3, da die Anzahl und Ausrichtung der Tests die Anforderungen bezüglich Datenbasis für Modellrechnungen und Nachweisführung erfüllt.

B7a.14 Untertage Labor

Ziel der gesteinsmechanischen Laboruntersuchungen war die Gewinnung einer hinreichenden Datenbasis zum Verständnis und zur Beschreibung des untertage auftretenden Konvergenzverhaltens mit Blick auf eine Modellierung dieser zeitabhängigen Prozesse in Abhängigkeit der vorherrschenden Druck- und Temperaturbedingungen sowohl für die Betriebsphase als auch unter Berücksichtigung eines zusätzlichen Wärmebeitrages für die Nachbetriebsphase. Auf Basis der Laboruntersuchungen sind gleichzeitig Modellparameter sowohl für das anstehende Wirtsgestein der Salado-Formation (Steinsalz, Anhydrit sowie Wechsellagerungen) vorzugsweise für das MDCF-Modell bestimmt worden.

Die Mehrzahl der Versuche wurden zwischen 1975 (vgl. Kap. B7a.19) und 1996 im gesteinsmechanischen Labor von RE/SPEC Inc in Rapid City (South Dakota) an Steinsalz durchgeführt (für einen voll-

ständiges Review aller Datensätze s. MELLEGARD & MUNSON, 1997). Einen Überblick über die relevanten Laboruntersuchungen gibt die Tabelle.

Tab.: Zusammenfassung aller relevanten Laborberichte mit Ergebnissen von Laboruntersuchungen, die bei RESPEC an Material von der WIPP-Site durchgeführt wurden.

Report No.	Author(s)	Title
SAND93-7111	Brodsky, N. S.	<i>Thermomechanical Damage Recovery Parameters for Rocksalt From the Waste Isolation Pilot Plant</i>
SAND92-7291	Mellegard, K. D. Pfeifle, T. W.	<i>Creep Tests on Clean and Argillaceous Salt From the Waste Isolation Pilot Plant</i>
SAND91-7083	Mellegard, K. D. Callahan, G. D. Senseny, P. E.	<i>Multiaxial Creep of Natural Rock Salt</i>
SAND90-7076	Brodsky, N. S.	<i>Crack Closure and Healing Studies in WIPP Salt Using Compressional Wave Velocity and Attenuation Measurements: Test Methods and Results</i>
SAND89-7098	Senseny, P. E.	<i>Creep of Salt From the ERDA-9 Borehole and the WIPP Workings</i>
SAND85-7261	Senseny, P. E.	<i>Triaxial Compression Creep Tests on Salt From the Waste Isolation Pilot Plant</i>
SAND80-7114	Hansen, F. D. Mellegard, K. D.	<i>Further Creep Behavior of Bedded Salt From Southeastern New Mexico at Elevated Temperature</i>
SAND79-7030	Hansen, F. D. Mellegard, K. D.	<i>Creep Behavior of Bedded Salt From Southeastern New Mexico at Elevated Temperature</i>
SAND79-7045	Hansen, F. D.	<i>Triaxial Quasi-Static Compression and Creep Behavior of Bedded Salt From Southeastern New Mexico</i>

Die mittels servohydraulischer Prüfeinrichtungen an Material aus untertägigen Beprobungen durchgeführten Laboruntersuchungen umfassten folgende Untersuchungsmethoden:

- Kriechversuch - Langzeitversuche unter konstanten Spannungs- und Temperaturbedingungen (zumeist 1 Belastungsstufe) mit gleichzeitiger Messung der Volumendehnung - 44 Proben \Rightarrow Bestimmung der stationären Kriechrate sowie der Volumen- und Querdehnung
- Multiaxiale Belastung an gelochten Kernen ($l = 610 \text{ mm}$; $d = 305 \text{ mm}$ sowie einer Innenbohrung von 25 mm); Die Belastung resultiert aus den unterschiedlichen Fluidrücken, die simultan auf die durch Schläuche abgedichtete Außenseite bzw. Innenbohrung aufgegeben wurden, womit ein definiertes Spannungsverhältnis und ein bekannter Spannungspfad realisiert wurde - 7 Proben \Rightarrow Datenbasis für die Modellierung des Spannungspfades (Hinweis: als Probenmaterial wurde „Avery Island salt“ verwendet)
- Verheilungsexperimente mit simultanem Monitoring der Ultraschallgeschwindigkeiten axial und quer zur Probenachse während der Belastung - 7 Proben \Rightarrow Nachweis aufgrund der Änderung der Durchschallungsparameter, dass eine Konsolidierung vorgeschädigter Probenkörper erfolgt.

Für die Beschreibung der zeitabhängigen mechanischen Festigkeitseigenschaften ist ein Stoffgesetzansatz entwickelt worden, das sogen. Multimechanism Deformation Coupled Fracture (MDFC) Modell. Auf Basis der durchgeführten Laboruntersuchungen liegen konsistente Parametersätze für die Be-

schreibung der verschiedenen Gesteinseinheiten Steinsalz (rein / tonig verunreinigt / Anhydrit / Anhydrit / Steinsalz / Wechsellagerungen vor (MUNSON et al 1997), die auch für PA-Modellierungen genutzt werden (BUTCHER 1997).

Qualität: Abschätzung der Stufe 3 entsprechend des in der Literatur MELLEGARD & MUNSON (1997) dokumentierten Testequipments und durchgeführten Testprozeduren sowie der Umsetzung in Stoffgesetze und numerische Modellstudien.

Quantität: Abschätzung der Stufe 3 (unter Einbeziehung der Daten aus B7a.9), da die Anzahl und die Ausrichtung der Tests die Anforderungen bezüglich der Datenbasis für die Parameterbestimmung als Basis der Stoffgesetzentwicklung und Parameterbestimmung erfüllt.

B7b Hydraulisch (z. B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)

B7b.1 Fernerkundung

B7b.2 Geophysik (übertägig)

B7b.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7b.4 Geol. Kartierung

B7b.5 Bohrungen

B7b.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7b.7 Feldmessungen - Geochemie

B7b.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7b.9 Labor

Zur Bestimmung des Formationsfaktors und der Tortuosität wurden an 15, in einer Natrium-Chlorid-Lösung (100 g/l) gesättigten, Bohrkern elektrische Widerstandsmessungen durchgeführt.

KELLEY & SAULNIER (1990)

Qualität: ? Quantität: ?

B7b.10 Untertage Geophysik

B7b.11 Untertage geol. Kartierung

B7b.12 Untertage Bohrungen

29 Bohrungen (siehe B7b.13)

Qualität: 3 (angenommen, um Schäden beim Bohren zu vermeiden) Quantität: 1

B7b.13 Untertage In-situ-Messungen

Da hydraulische Messungen der Transporteigenschaften der Salado-Formation nicht möglich waren, wurde ein umfangreiches untertägiges Messprogramm zur Bestimmung der Permeabilität mittels Gas bzw. Salzlösung der verschiedenen Steinsalzvariationen, des kompakten Anhydrits sowie Wechsellagerungen von beidem durchgeführt. Ergebnisse von drei umfangreichen Testkampagnen aus den Jahren 1989 bis 1995 sind in ROBERTS et al. (1999) bzw. BEAUHEIM & ROBERTS (2002) detailliert beschrieben.

Im Vordergrund der Messungen standen die Bestimmung der Permeabilität im ungeschädigten Wirtsgestein, die Eigenschaften der Auflockerungszone in der entspannten Hohlraumkontur während und nach der Hohlraumauffahrung sowie die Eigenschaften der Anhydrit/Steinsalz/Ton-Wechsellagerungen. Die Versuche beinhalteten Pulstests und konstante-Raten-Tests mit definierten Druckaufbau- bzw. Gasmengeninjektionsraten.

Die Untersuchungen wurden an vier verschiedenen Positionen im Bereich des Testfeldes durchgeführt und umfassen Tests in 29 Bohrlöcher, mit jeweils bis zu drei Messabschnitten.

Die Durchlässigkeit der ungeschädigten Steinsalzeinheiten wird mit 10^{-22} bis 10^{-21} m^2 als sehr dicht ausgewiesen. Die Permeabilitäten in von Anhydrit dominierten Bereichen variieren zwischen 10^{-20} und 10^{-17} m^2 .

Qualität: 3 Quantität: 3

B7b.14 Untertage Labor

In Ergänzung der durchgeführten Untertagemessungen wurde ein aufwändiges Laborprogramm durchgeführt, auf dessen Basis insbesondere dilatanzinduzierte Schädigungsprozesse und 2-Phasenphänomene bewertet werden konnten (DAVIES 1991, STORMONT & DAEMEN 1992). Auf der Basis dieser Untersuchungen wurden erste Modellansätze zur numerischen Simulation von THMC-Prozessen im Salz entwickelt, die aber noch nicht ausreichend für ein fundiertes Verständnis dieser Prozesse waren, aber dennoch ein hinreichendes Verständnis der Transporteigenschaften des anstehenden Salzgebirges für den Nachweis einer Dichtheit gegenüber Fluiden erlaubte.

Qualität: 2 Quantität: 3

B7c Diffusion**B7c.1 Fernerkundung****B7c.2 Geophysik (übertägig)****B7c.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7c.4 Geol. Kartierung****B7c.5 Bohrungen****B7c.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7c.7 Feldmessungen - Geochemie****B7c.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7c.9 Labor****B7c.10 Untertage Geophysik****B7c.11 Untertage geol. Kartierung****B7c.12 Untertage Bohrungen****B7c.13 Untertage In-situ-Messungen****B7c.14 Untertage Labor****B7d Thermisch****B7d.1 Fernerkundung****B7d.2 Geophysik (übertägig)****B7d.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7d.4 Geol. Kartierung****B7d.5 Bohrungen****B7d.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7d.7 Feldmessungen - Geochemie****B7d.8 Feldmessungen - Geomechanik**

B7d.9 Labor

Zu den thermischen Eigenschaften von Steinsalz liegen in der Literatur von verschiedenen Lokationen umfangreiche Ergebnisse aus Laboruntersuchungen vor.

z.B. GEVANTMAN (1981); KRIEG (1984)

Für Steinsalz von New Mexico werden für die spezifische Wärmekapazität konstant 862,8 J/(kg · K) angesetzt, während sich die Temperaturleitfähigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur ändert. Die hierfür bis 200°C abgeleitete empirische Bestimmung stimmt sehr gut mit 3% Abweichung mit den Messwerten von Steinsalz aus Norddeutschland überein.

FOSSUM & FREDRICH (2002)

Ebenfalls liegen standortspezifischen Messungen zum linearen thermischen Ausdehnungskoeffizienten für einen weiteren Temperatur- und Druckbereich vor (FOSSUM & FREDRICH 2002). Bei letztgenannten Autoren finden sich ebenfalls Hinweise zu thermomechanischen Wechselwirkungen auf Steinsalz.

Qualität: Abschätzung der Stufe 3, zumal aufgrund der geringen lithologischen Variabilität und der bestehenden Isotropie von Steinsalz die thermischen Eigenschaften nur gering variieren und auch durch Vergleichsmessungen von anderen Standorten bestätigt werden.

Quantität: 3

B7d.10 Untertage Geophysik**B7d.11 Untertage geol. Kartierung****B7d.12 Untertage Bohrungen****B7d.13 Untertage In-situ-Messungen**

Die Realisierung relevanter In-situ-Bedingungen mit Erhitzerversuchen und Modellrechnungen zur thermomechanischen Wechselwirkung von Einlagerungsgebinden und Wirtsgestein stellt einen umfangreichen Aspekt der Untertageversuche dar, vgl. MUNSON et al. (1997) sowie B7a.13.

Qualität: 3 Quantität: 3

B7d.14 Untertage Labor**B7e THMC-Kopplung****B7e.1 Fernerkundung****B7e.2 Geophysik (übertägig)****B7e.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7e.4 Geol. Kartierung****B7e.5 Bohrungen****B7e.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7e.7 Feldmessungen - Geochemie****B7e.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7e.9 Labor****B7e.10 Untertage Geophysik****B7e.11 Untertage geol. Kartierung****B7e.12 Untertage Bohrungen**

B7e.13 Untertage In-situ-Messungen

Die Realisierung relevanter In-situ-Bedingungen mit Erhitzerversuchen und Modellrechnungen zur thermomechanischen Wechselwirkung von Einlagerungsgebinden und Wirtsgestein stellt einen umfangreichen Aspekt der Untertageversuche dar, vgl. MUNSON et al. (1997) sowie B7a.13.

Qualität: 3 Quantität: 3

B7e.14 Untertage Labor

Zur hydraulisch/mechanischen Kopplung bezüglich des mechanischen Verhaltens von Steinsalz aus der Region New Mexico wurden in den 1980er und 1990er Jahren umfangreiche Laboruntersuchungen bei Sandia durchgeführt, die insbesondere das Verständnis der Schädigungs- und Verheilungsprozesse in Steinsalz entwickelten und auch bei der zeitabhängigen Entwicklung des MDCF-Modells berücksichtigt wurden. Die aus diesen Arbeiten resultierenden Erkenntnisse, insbesondere die numerischen Werkzeuge zur Simulation von In-situ-Bedingungen, werden aktuell für praktische Fragen der Kavernenstandsicherheit sowie für die Erdölgewinnung im Golf von Mexiko eingesetzt.

MUNSON et al. (1996); FOSSUM & FREDRICH (2002)

Qualität: 3 Quantität: 3

B7f Chemische Eigenschaften (z. B. Oxidation, Adsorption)**B7f.1 Fernerkundung****B7f.2 Geophysik (übertägig)****B7f.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7f.4 Geol. Kartierung****B7f.5 Bohrungen****B7f.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7f.7 Feldmessungen - Geochemie****B7f.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7f.9 Labor****B7f.10 Untertage Geophysik****B7f.11 Untertage geol. Kartierung****B7f.12 Untertage Bohrungen****B7f.13 Untertage In-situ-Messungen****B7f.14 Untertage Labor*****C Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)*****C1 Hydraulisch wirksame Einheiten****C1.1 Fernerkundung****C1.2 Geophysik (übertägig)**

Zielsetzung der Time Domain Electromagnetic (TDEM)-Messungen war es, die Tiefe von Laugentaschen und laugengesättigten Schichten zu kartieren. Grund dafür war, dass unter Druck stehende Lauge in der Castille-Formation in den Schichten erbohrt wurde, die unmittelbar unterhalb der zur Endlagerung vorgesehen Salzschichten liegen. 36 von 38 TDEM-Messungen wurden in einer 1,5 x 1 km großen Fläche auf einem regelmäßigen Raster direkt über dem Endlager durchgeführt. Die Ergebnisse der TDEM-Messungen stimmten gut mit den geologischen und bohrlochgeophysikalischen Resultaten an drei Bohrungen überein und lieferten Indikationen für Laugentaschen unterhalb der für die Endlagerung vorgesehenen Formation. In den darüber liegenden Schichten gab es keine Anzei-

chen für Laugentaschen. Bei der Inversion der Messdaten wurden an der Bohrung ERDA 9 eine erbohrte Salzschiefer und mit bohrlochgeophysikalischen Messungen (induction log) erfasste Schichten fixiert (120 Ω m).

Erkundungstiefe: ca. 1.000 m

Messsystem: Geonics EM-42 TDEM

Sendespulen: 500 x 500 m

Empfängerspulen: im Zentrum der Sendespulen

Es wurden Betrachtungen zur Genauigkeit der Messung in Abhängigkeit von der Zeit, Mehrdeutigkeit der Inversion und die Gültigkeit der eindimensionalen Interpretation angestellt.

EARTH TECHNOLOGY CORPORATION (1988)

Zur Laugenerkundung in der Castille-Formation und dem Anhydrit III wurden zwei CSAMT-Messungen im Umfeld der Bohrung WIPP-12 durchgeführt. Eine Messung mit geerdeter Dipol-Sendeantenne mit 8.000 ft Länge (Ost-West-Ausrichtung) und eine Messung mit geerdeter Dipol-Sendeantenne mit 4.000 ft Länge (Nord-Süd-Ausrichtung)

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (DOE) (1990)

Qualität: 2 Quantität: 3

C1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Es erfolgten bohrlochgeophysikalische Messungen im Bohrloch Cabin Baby-1 (ehem. Kohlenwasserstoffexplorationsbohrung, die zur hydrogeologischen Untersuchung der Belly-Canyon-Formation vertieft wurde). Zielsetzung der Logs sind die stratigraphische Interpretation, die Bestimmung der Wassersättigung und die Identifikation poröser Schichten bzw. nicht permeabler Schichten. Die folgenden Logs wurden gemessen:

Vor der Vertiefung: Kalkstein-kompensierte Neutronen-Porosität, Gamma-Strahlung, 4-Arm-Kaliber

Nach der Vertiefung: Kalkstein-kompensierte Neutronen-Porosität, Gamma-Strahlung, 1-Arm-Kaliber

Nach der Aufweitung des Bohrlochs wurden gemessen:

- Neutronen-Porosität zur Abschätzung der Porosität und zur Messung der Wasserstoffatomdichte
- Neutronen-Dichte zur Abschätzung der Dichte und Porosität sowie zur Messung der Elektronendichte
- Gamma-Strahlung zur Identifikation von Tonen und Schiefern
- akustischer Televiwer zur Feststellung von Klüften und Rissen sowie deren Orientierung
- 3-Arm-Kaliber zur Bestimmung des Durchmessers
- Dual Laterolog und Micro Laterolog für Informationen zur Lithologie

BEAUHEIM, HASSINGER & KLEIBER (1983)

Qualität: 2 Quantität: 1

C1.4 Geol. Kartierung

C1.5 Bohrungen

Insgesamt wurden 49 hydrologische 'H'-Bohrungen abgeteuft (HILL et al. 1997). 13 von 45 geologischen Bohrungen wurden für hydraulische Tests umgebaut (MERCER 1983)

22 Bohrungen befanden sich zur hydrologischen Beobachtung in der Region (ca. 30 x 50 km), aber außerhalb des WIPP-Bereiches (ca. 6 x 6 km) sowie 25 innerhalb. An einer von diesen Stellen (H19) wurden 7 Bohrungen für das hydraulische Testen des Culebra-Dolomits abgeteuft.

MERCER et al. (1998).

71 Bohrungen wurden zum GW-Monitoring genutzt. Insgesamt wurden 112 Bohrungen im WIPP-Bereich für geologische und hydrogeologische Untersuchungen abgeteuft, außerdem mehr als 60 Flachbohrungen im Lockergestein und 12 GWM mit Piezometern.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (2003)

112 Bohrungen: Qualität: 2 (Bohrverfahren nicht bekannt) Quantität: 2

60 Flachbohrungen und GWM: Qualität: 2 (Bohrverfahren nicht bekannt) Quantität: 2

40 der im Umfeld vorhandenen Explorationsbohrungen der Erdölindustrie wurden für die hydrogeologische Untersuchung des WIPP-Standesortes genutzt.

WEART (1983)

Qualität: 2 Quantität: 1

C1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

4 Bohrungen, die das Kalisalz erreichten, wurden ausgebaut, um hydrogeologische Kennwerte zu ermitteln.

POWERS (1978)

Qualität: 1 Quantität: 1 (Mindestwerte angenommen)

Hydraulische Parameter und Grundwassernutzung wurden ermittelt. Grundwasserdaten wurden in Flachbohrungen mit konventionellen und speziellen Messanordnungen gewonnen. Insgesamt wurden 71 Bohrungen von 45 separaten Bohrstellen in das Monitoring einbezogen.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (2004a)

Qualität: 1 Quantität: 1 (Mindestwerte angenommen)

Bell Canyon-Formation - Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeit und des Porenwasserdrucks an 5 Bohrungen.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (2004a)

Qualität: 1 Quantität: 1 (Mindestwerte angenommen)

Die Transmissivitätswerte wurden für die Culebra-Schicht an 47 Stellen bestimmt.

HOLT (1997)

Qualität: 1 Quantität: 1 (Mindestwerte angenommen)

C1.7 Feldmessungen - Geochemie

C1.8 Feldmessungen - Geomechanik

C1.9 Labor

C1.10 Untertage Geophysik

Geophysikalische Messungen sind Bestandteil der Laugenerkundung:

Georadar (GPR) wurde zur Kartierung von Kluftzonen durchgeführt. Toneinlagerungen und Luftspalten (void spaces) begrenzen die Erkundungstiefe allerdings erheblich, Feuchtigkeitsunterschiede wurden nicht erkannt, so dass Georadar zur Lösung der Erkundungsaufgabe eher ungeeignet ist. Elektromagnetik (EM) und Widerstandsmessungen sind wesentlich geeigneter.

EM untertage:

Geonics EM-31: Spulenabstand 3,6 m, horizontaler Dipol, Erkundungstiefe ca. 3,7 m, Erkundung der Wände (1,5 bis 2 m über der Sohle), 3 Profile mit Längen zwischen 75 und 180 m.

Weitere Messungen durch die Colorado School of Mines:

EM-31: Spulenabstand 3,7 m, Stationsabstand 6,1 bzw. 7,6 m, Erkundungstiefe ca. 1 bis 2 m

EM-34: Spulenabstand 20 m, Stationsabstand 20 m, Erkundungstiefe ca. 10 bis 20 m

Anthropogene Einflüsse (Kabel, Metallrohre, Transformatoren etc.) führten zu zahlreichen Problemen bei den Messergebnissen. Nach einer Kalibrierung ist es aber trotzdem möglich, mit EM einen relativen Feuchtegehalt des Gesteins zu bestimmen. Im Vergleich zum Salzstock der ASSE ist der Feuchtigkeitsgehalt in der WIPP-Site merklich höher.

DEAL, CASE, DESHLER, DREZ, MYERS & TYBURSKI (1987)

Qualität: 2 Quantität: 2

Qualität muss evtl. auf 1 reduziert werden, da die Aussagen nur bedingt sicher sind.

C1.11 Untertage geol. Kartierung

C1.12 Untertage Bohrungen

6 gekernte Bohrungen wurden von untertage in einer Tiefe von 655 m in Anhydrit, Tonen sowie Halit für Durchlässigkeitsversuche abgeteuft.

CHACE et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 1

Vom Schacht aus wurden 3 Erkundungsbohrungen abgeteuft.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (2003)

Qualität: 3 (angenommen gekernt) Quantität: 1

C1.13 Untertage In-situ-Messungen

6 gekernte Bohrungen wurden von untertage in einer Tiefe von 655 m in Anhydrit, Tonen sowie Halit für Durchlässigkeitsversuche abgeteuft.

CHACE et al. (1998)

Qualität: 1 Quantität: 1 (Mindestwerte angenommen)

C1.14 Untertage Labor

C2 Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein

C2.1 Fernerkundung

C2.2 Geophysik (übertägig)

C2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

C2.4 Geol. Kartierung

C2.5 Bohrungen

12 GWM wurden mit Piezometern ausgebaut.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (2003)

Qualität: 2 Quantität: 1

C2.6 Feldmessungen - Geohydraulik

Das eingesetzte Testgerät, das für die Messungen am WIPP-Standort entwickelt wurde, beinhaltet hydraulisch ausdehnbare Packer zur Isolation spezieller Horizonte bei der Porenwasserdruckmessung (Multipackersystem).

MERCER (1983)

Seit 1981 wurden in 60 Bohrungen und ergänzend an 41 Bohrstellen in der Culebra-Schicht Wasserstände aufgezeichnet.

HOLT (1997)

Qualität: 1 Quantität: 1

1990 wurden an 35 Bohrungen die Wasserstände, die Dichte des Bohrlochwassers, die durch den Bau der Untertageanlagen hervorgerufenen Änderungen der hydrogeologischen Rahmenbedingungen und die freie Grundwasseroberfläche erneut aufgenommen.

HOLT (1997)

Qualität: 1 Quantität: 1

An 7 Bohrungen wurden im Rahmen des GW-Monitoring monatlich die Grundwasserstände manuell mit Echolot gemessen; außerdem wurde der Wasserdruck gemessen.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (2003)

Qualität: 1 Quantität: 1

Porenwasserdrücke wurden mit herkömmlichen und modifizierten Drillstem-Tests (Doppelpacker) ermittelt.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (2004a)

Qualität: 1 Quantität: 1 (Mindestquantität angenommen)

Der Grundwasserdruckspiegel wurde an 80 Intervallen in 71 Bohrungen gemessen, die Messungen erfolgten jährlich an ca. 35 Bohrungen, so dass die 71 nach je 2 Jahren komplett gemessen wurden. Die meisten Messungen erfolgten in offenen Bohrlöchern, nur in einigen Bohrungen wurden Packer eingesetzt.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (2003 & 2004)

Qualität: 1 Quantität: 1

C2.7 Feldmessungen - Geochemie**C2.8 Feldmessungen - Geomechanik****C2.9 Labor****C2.10 Untertage Geophysik****C2.11 Untertage geol. Kartierung****C2.12 Untertage Bohrungen****C2.13 Untertage In-situ-Messungen**

Im Bereich des Erkundungsschachtes (ab 1996) wurden 12 Piezometer für Druckbeobachtungen eingebaut, seitdem werden sie regelmäßig ausgelesen.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (2003)

Qualität: 2 Quantität: 1 (angenommen 1 Piezometer / Bohrung)

C2.14 Untertage Labor**C3 Fließ- und Speicherparameter****C3.1 Fernerkundung**

C3.2 Geophysik (übertägig)**C3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C3.4 Geol. Kartierung****C3.5 Bohrungen****C3.6 Feldmessungen - Geohydraulik***Allgemein:*

Hydraulische Tests zur Ermittlung des Durchflusses, wie Druck- und Pumptestes, wurden angewandt, um die Abschätzung der Transmissivität und Speicherkapazität zu erleichtern.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (2004a)

Vor Ort werden an Kontrollpunkten Daten für die Erstellung von Potenzialflächenkarten und zur Ermittlung der hydraulischen Leitfähigkeit erhoben.

POWERS (1978)

Die Datenerhebung, z.B. der Grundwasserströmung, vor Ort soll für mehrere Jahre fortgeführt werden, um detaillierte Sicherheitsanalysen für den WIPP-Standort machen zu können.

POWERS (1978)

Insgesamt wurden 49 hydrologische 'H'-Bohrungen abgeteuft (HILL et al. 1997). 13 von 45 geologischen Bohrungen wurden für hydraulische Tests umgebaut.

MERCER (1983)

22 Bohrungen befanden sich zur hydrologischen Beobachtung in der Region (ca. 30 x 50 km), aber außerhalb des WIPP-Bereiches (ca. 6 x 6 km) sowie 25 innerhalb. An einer von diesen Stellen (H19) wurden 7 Bohrungen für das hydraulische Testen des Culebra-Dolomits abgeteuft.

MERCER et al. (1998)

Horizontale sowie vertikale Durchflussmenge und -geschwindigkeit des Grundwassers wurden ebenso ermittelt wie die hydraulischen Zusammenhänge zwischen verschiedenen Gesteinseinheiten.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (2004a)

An 6 Bohrungen wurden Injektionstests durchgeführt, die an Werktagen täglich ausgelesen wurden.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (2003)

Qualität: 2 Quantität: 1

Entnahme-, Injektions- und Druckimpulstests wurden in Zonen mit geringer Permeabilität eingesetzt. In Bereichen mit höherer Permeabilität kamen Standardmethoden zum Einsatz.

MERCER (1983)

Qualität: 2 Quantität: 1 (Mindestquantität angenommen)

Tracer-Tests wurden durchgeführt, um Fließparameter zu bestimmen. An 3 Bohrungen (H-3, H-6, H-11) wurden von 1981 bis 1996 in der Culebra-Schicht mit Tracer-Tests Konvergenzströmungen bestimmt. Zusätzlich wurden diese Tests an der Bohrung H-19 und erneut an der Bohrung H-11 durchgeführt. Zunächst wurde mit Einbohrloch-Tracer-Tests die Diffusion in diffusen Porositäten identifiziert und anschließend zwei herkömmliche Tracer simultan injiziert, um die Konvergenzströmung zu bestimmen. Dabei wurden auch unterschiedliche Pumpraten eingesetzt; es wurden mehrere Bohrungen in die Messungen einbezogen, um Rückschlüsse auf die Strömung zu erhalten.

HOLT (1997)

Im Rustler-Aquifer wurden Tracer-Tests durchgeführt, um detailliertere Daten für die Hydraulikmodellierung zu sammeln.

WEART (1983)

Qualität: 3 Quantität: 2

C3.7 Feldmessungen - Geochemie**C3.8 Feldmessungen - Geomechanik****C3.9 Labor****C3.10 Untertage Geophysik****C3.11 Untertage geol. Kartierung****C3.12 Untertage Bohrungen****C3.13 Untertage In-situ-Messungen**

Zwischen 1988 und 1995 wurden Druck-Pulse-Tests, Durchflussmessungen bei konstantem Druck und Recovery-Tests in 12 bis 15 Bohrungen durchgeführt, die im untertägigen Bereich abgeteuft und mit Multipackern ausgebaut wurden.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (2003)

Qualität: 3 Quantität: 2 (Annahme - nur eine Bestimmung in jedem Bohrloch)

C3.14 Untertage Labor**C4 Zwei-Phasenflussparameter****C4.1 Fernerkundung****C4.2 Geophysik (übertägig)****C4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C4.4 Geol. Kartierung****C4.5 Bohrungen****C4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****C4.7 Feldmessungen - Geochemie****C4.8 Feldmessungen - Geomechanik****C4.9 Labor****C4.10 Untertage Geophysik****C4.11 Untertage geol. Kartierung****C4.12 Untertage Bohrungen****C4.13 Untertage In-situ-Messungen****C4.14 Untertage Labor*****D Hydrochemie*****D1 Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)****D1.1 Fernerkundung****D1.2 Geophysik (übertägig)****D1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D1.4 Geol. Kartierung****D1.5 Bohrungen****D1.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D1.7 Feldmessungen - Geochemie**

D1.8 Feldmessungen - Geomechanik**D1.9 Labor**

58 Wasserproben von der WIPP-Region wurden für Isotopenverhältnisse ($^2\text{H}/^1\text{H}$ und $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) analysiert.

LAMBERT (1992a).

58 Wasserproben von Einheiten in der Rustler-Formation, in der Rustler-Salado-Kontaktzone und im Capitan-Limestone sowie 5 Wasserproben von flachen Messstellen in Einheiten oberhalb der Rustler-Formation; 18 Proben aus der ungesättigten Zone und von Oberflächengewässern wurden auf die Isotopenverhältnisse ($^2\text{H}/^1\text{H}$ und $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) analysiert.

LAMBERT (1992a)

Qualität: 3 Quantität: 2

16 regionale Wasserproben von der Rustler-Formation und Dewey Lake Red Beds wurden auf Radio-kohlenstoff (^{14}C) und $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ analysiert. 10 Proben davon waren durch die Bohrspülung kontaminiert. Von nur 4 Proben ergaben sich konsistente Daten.

LAMBERT (1992a, b)

Qualität: 3 Quantität: 1

6 Wasserproben von der Rustler-Formation und Dewey Lake Red Beds wurden auf Tritium (^3H) analysiert.

LAMBERT (1992a, b)

Insgesamt wurde Tritium für 49 Beprobungspunkte bestimmt.

SIEGEL et al. (1991)

Qualität: 3 Quantität: 1

D1.10 Untertage Geophysik**D1.11 Untertage geol. Kartierung****D1.12 Untertage Bohrungen****D1.13 Untertage In-situ-Messungen****D1.14 Untertage Labor**

8 Laugeneinschlüsse und 2 Laugensickerstellen in der Salado-Formation wurden auf Isotopenverhältnisse ($^2\text{H}/^1\text{H}$ und $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) analysiert.

LAMBERT (1992a).

Qualität: 3 Quantität: 2

D2 Porenwasserchemismus**D2.1 Fernerkundung****D2.2 Geophysik (übertägig)****D2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D2.4 Geol. Kartierung****D2.5 Bohrungen****D2.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

D2.7 Feldmessungen - Geochemie

Die Datenerhebung, z.B. des Grundwasserchemismus, vor Ort sollte für mehrere Jahre fortgeführt werden, um detaillierte Sicherheitsanalysen für den WIPP-Standort machen zu können.

POWERS (1978)

Hydrogencarbonat und pH-Wert wurden in situ bei der Probenahme gemessen.

LAPPIN (1988)

An 7 Bohrungen innerhalb der WIPP-Site-Area (WQSP-1 bis WQSP-6a) bis maximal 268 m wurden im Rahmen des GW-Monitoring halbjährlich Proben für Analysen entnommen. Dabei wurden Serienproben und die abschließenden 2 Proben genommen. Die Serienproben wurden vor Ort in mobilen Labors analysiert, um festzustellen, wann die Temperatur, die pH- und die Eh-Werte stabil bleiben.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (2003)

Qualität: 2 Quantität: 1

Das Beprobungsprogramm schließt in den WIPP-Bohrungen insgesamt 57 Intervalle mit ein.

SIEGEL et al. (1991)

Eh- (Redox) Bestimmungen erfolgten in 19 Grundwassermessstellen mit einer Pt-Elektrode.

SIEGEL et al. (1991)

Qualität: 3 Quantität: 2

D2.8 Feldmessungen - Geomechanik**D2.9 Labor**

An 7 Bohrungen wurden im Rahmen des GW-Monitoring halbjährlich 2 Proben für Analysen entnommen. Die Proben wurden auf gelösten Feststoff, flüchtige organische Verbindungen sowie Metalle analysiert.

HILL et al. (1997)

Das Beprobungsprogramm schließt in den WIPP-Bohrungen insgesamt 57 Intervalle ein.

SIEGEL et al. (1991)

Proben der Lösungen in der sich im Liegenden befindlichen Castile-Formation von den ERDA-6 und WIPP-12-Bohrungen wurden analysiert.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (2004a)

Qualität: 3 Quantität: 1

Wasserproben wurden von 52 ausgewählten Intervallen (meist in der Rustler-Formation) in 40 Bohrungen aus der Serien H, AEC, ERDA, P, WIPP genommen.

MERCER (1983)

Wasserproben wurden von 48 regionalen Grundwassermessstellen, mehrmals von mehreren Intervallen, genommen. Die Probenanzahlen der 7 Kampagnen waren: ROBINSON (1997):

Beprobungskampagne	A	B	C	D	E	F	G
Alluvium	1						
Dewey Lake Red Beds		2			3		3
Bell Canyon					1		1
Culebra-Dolomite	1	6	5	2	18	21	18
Magenta-Dolomite	1	3			4	12	5
Rustler/Salado-Kontakt-Zone	6	6				20	

A - vor 1980

B - in Nash Draw 1980

C - Beprobung während hydraulischer Tests 1983/84

D - Beprobung während Tracer-Tests im August 1984

E - Proben des Water Quality Sampling Program (WQSP) Round 1

F - Proben und Analyse der USGS 1976-1980

G - WQSP Round 1 1985/86

Die hydrochemischen Analyse waren: (a) Feldanalysen (pH, Eh, Leitfähigkeit, Temperatur, Karbonat-alkalinität, Dichte), (b) gelöste Hauptsubstanzen in allen Proben (Ca, Mg, Na, K, Cl, SO₄), (c) gelöste Nebensubstanzen in den meisten Proben (Br, B, Li, Si, Sr), (d) NO₃ nur in einigen Flachproben, (e) gelöste Spurenelemente in wenigen ausgewählten Proben (F, I, Cs, Fe, Mn).

ROBINSON (1997)

Proben zur Analyse der redoxempfindlichen gelösten Substanzen (As, N, Se, S, I) wurden von 21 Grundwassermessstellen genommen.

SIEGEL et al (1991)

Qualität: 3 Quantität: 1 (gelöste Haupt- und Nebensubstanzen)

Qualität: 3 Quantität: 1 (gelöste Spurenelemente)

Qualität: 3 Quantität: 1 (redoxempfindliche gelöste Substanzen)

D2.10 Untertage Geophysik

D2.11 Untertage geol. Kartierung

D2.12 Untertage Bohrungen

D2.13 Untertage In-situ-Messungen

D2.14 Untertage Labor

Im Rahmen des untertägigen GW-Monitoring wird seit ca. 1996 die Grundwasserqualität regelmäßig überwacht.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (2003)

Zwischen 82 und 96 Proben der Lösungen der Salado-Formation in Einschlüsse in den Evaporiten sowie von Einsickerungen in die Abbaue wurden analysiert.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (2004a)

Qualität: 3 Quantität: 3

D3 Transporteigenschaften

D3.1 Fernerkundung

D3.2 Geophysik (übertägig)

D3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

D3.4 Geol. Kartierung

D3.5 Bohrungen**D3.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

Tracer-Tests wurden durchgeführt, um Fließparameter zu bestimmen. An 3 Bohrungen (H-3, H-6, H-11) wurden von 1981 bis 1996 in der Culebra-Schicht mit Tracer-Tests Konvergenzströmungen bestimmt. Zusätzlich wurden diese Tests an der Bohrung H-19 und erneut an der Bohrung H-11 durchgeführt. Zunächst wurde mit Einbohrloch-Tracer-Tests die Diffusion in diffusen Porositäten identifiziert und anschließend zwei herkömmliche Tracer simultan injiziert, um die Konvergenzströmung zu bestimmen. Dabei wurden auch unterschiedliche Pumpraten eingesetzt und mehrere Bohrungen in die Messungen einbezogen, um Rückschlüsse auf die Strömung ziehen zu können.

HOLT (1997)

Im Rustler-Aquifer wurden Tracer-Tests durchgeführt, um detailliertere Daten für die Hydraulikmodellierung zu sammeln.

WEART (1983)

Qualität: 3 Quantität: 2

D3.7 Feldmessungen - Geochemie**D3.8 Feldmessungen - Geomechanik****D3.9 Labor****D3.10 Untertage Geophysik****D3.11 Untertage geol. Kartierung****D3.12 Untertage Bohrungen****D3.13 Untertage In-situ-Messungen****D3.14 Untertage Labor****D4 Kolloide usw.****D4.1 Fernerkundung****D4.2 Geophysik (übertägig)****D4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D4.4 Geol. Kartierung****D4.5 Bohrungen****D4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D4.7 Feldmessungen - Geochemie****D4.8 Feldmessungen - Geomechanik****D4.9 Labor****D4.10 Untertage Geophysik****D4.11 Untertage geol. Kartierung****D4.12 Untertage Bohrungen****D4.13 Untertage In-situ-Messungen****D4.14 Untertage Labor**

ZITATE

(Die mit * gekennzeichneten Zitate befinden sich auf dem beiliegenden Datenträger.)

- *ALGERMISSEN, S. T. & PERKINS, D. M. (1976): A Probabilistic Estimate of Maximum Ground Acceleration in the Contiguous United States. Open-file Report 76-416, 1-45. U.S. Geological Survey.
- *BARROWS, L. J., SHAFFER, S. E., MILLER, W. B. & FETT, J. D. (1983): Waste Isolation Pilot Plant (WIPP) Site Gravity Survey and Interpretation. SAND 82-2922. Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM.
- *BEAUHEIM, R. L., HASSINGER, B. W. & KLEIBER, J. A. (1983): Basic Data Report for Borehole Cabin Baby-1 Deepening and Hydrologic Testing, Waste Isolation Pilot Plant (WIPP) Project, Southeastern New Mexico. WTSD-TME-020. United States Department of Energy, Albuquerque, NM.
- *BEAUHEIM, R. L. & ROBERTS, R. M. (2002): Hydrology and hydraulic properties of a bedded evaporite formation, J. Hydrology, Vol. 59 (1): 66-88.
- *BECHTEL NATIONAL INC. (1979): "Soils Design Report - Volume 1 Plant Site Near-Surface Structures," Doc. No. Dr-22-V-01. San Francisco, CA: Bechtel National Inc.
- *BORNS, D. J., BARROWS, L. J., POWERS, D. W. & SNYDER, R. P. (1983): Deformation of Evaporites Near the Waste Isolation Pilot Plant (WIPP) Site. SAND-82-1069. Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM.
- *BUTCHER, B. M. (1997). A summary of the sources of input parameter values for the Waste Isolation Pilot Plant final porosity surface calculations, SAND-97-0796.
- *CHACE, D. A., ROBERTS, R. M., PALMER, J. B., KLOSKA, M. B., FORT, M. D., MARTIN, G. J. & STENSRUD, W. A. (1998): Waste isolation pilot plant salado hydrology program. Data Rep. No 3. SAND-97-1880.
- *DAVIES, P. B. (1991): Evaluation of the role of threshold pressure in controlling flow of waste-generated gas into bedded salt at the Waste Isolation Pilot Plant (WIPP). Sandia Rep. SAND-90-3246.
- *DEAL, D. E., CASE, J. B., DESHLER, R. M., DREZ, P. E., MYERS, J. & TYBURSKI, J. R. (1987): Brine Sampling and Evaluation Program Phase II Report. DOE-WIPP-87-010. Westinghouse Electric Corporation, Carlsbad, NM.
- *EARTH TECHNOLOGY CORPORATION (1988): Final Report for Time Domain Electromagnetic (TDEM) Surveys at the WIPP Site. SAND-87-7144. Albuquerque, NM: Sandia National Laboratories.
- *ELLIOT GEOPHYSICAL COMPANY (1976): A Preliminary Geophysical Study of a Trachyte Dike in Close Proximity to the Proposed Los Medaños Nuclear Waste Disposal Site, Eddy and Lea Counties, New Mexico. Elliot Geophysical Company, Tucson, AZ.
- *ELLIOT GEOPHYSICAL COMPANY (1977): Evaluation of the Proposed Los Medaños Nuclear Waste Disposal Site by Means of Electrical Resistivity Surveys, Eddy & Lea Counties, New Mexico, Tucson, AZ, Elliot Geophysical Company.
- *ENVIRONMENTAL SCIENCE AND RESEARCH FOUNDATION (ESRF), INC. (2000): Waste Isolation Pilot Plant 1999 Site Environmental Report. DOE/WIPP 00-2225, ESRF-039. Idaho Falls, ID: ESRF.
- *FOSSUM, A. F. & FREDRICH, J. T. (2002): Salt Mechanics Primer for Near-Salt and Sub-Salt Deepwater Gulf of Mexico Field Developments. SAND-2002-2063.
- *GEVANTMAN, L. H. (Ed.) (1981): Physical Properties Data for Rock Salt. NBS Monogr. Vol. 167, U.S. Dep. Commer., Nat Inst. of Stand. and Technol., Gaithersburg, Md.
- *HERN, J. L., POWERS, D. W. & BARROWS, L. J. (1979): Seismic Reflection Data Report Waste Isolation Pilot Plant (WIPP) Site, Southeastern New Mexico, SAND79-0264, Albuquerque, New Mexico, Sandia National Laboratories. Volumes 1 and 2.
- *HILL, L. R., AGUILAR, R., MERCER, J. W. & NEWMAN, G. (1997): Condensed listing of surface boreholes at the Waste Isolation Pilot Plant project through 31 December 1995. Sandia Report SAND96-1960.UC-21. Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM.

- *HOLT, R. M. & POWERS, D. W. (1988): Facies Variability and Post-Depositional Alteration Within the Rustler Formation in the Vicinity of the Waste Isolation Pilot Plant, Southeastern New Mexico. DOE/WIPP 88-004. U.S. Department of Energy, Carlsbad, NM (CCA Appendix FAC).
- *HOLT, R. M. (1997): Conceptual Model for Transport Processes in the Culebra Dolomite Member, Rustler Formation. SANDIA REPORT SAND97-0194. Albuquerque, NM: Sandia National Laboratories.
- *HOLT, R. M. & POWERS, D. W. (1990a): "Halite Sequences within the Later Permian Salado Formation in the Vicinity of the Waste Isolation Pilot Plant, Southeastern New Mexico," Geological and Hydrological Studies of Evaporites in the Northern Delaware Basin for the Waste Isolation Pilot Plant (WIPP), Powers, D. W. Holt, R. M. Beauheim, R. L. & Rempe, N. eds., Geological Society of America Fieldtrip Guidebook 14, 45-78. (s. Abstract in Powers & Martin 1993).
- *HOLT, R. M. & POWERS, D. W. (1990b): "Geologic Mapping of the Air Intake Shaft at the Waste Isolation Pilot Plant," DOE-WIPP 90-051, U.S. Department of Energy, WIPP Project Office, Carlsbad, NM. (Abstract in Powers & Martin 1993).
- *JONES, C. L. (1978): Test Drilling for Potash Resources: Waste Isolation Pilot Plant Site, Eddy County, New Mexico. Open-File Report 78-592. Vols. 1 and 2. U.S. Geological Survey, Denver, CO.
- *KEESEY, J. J. (1976): Hydrocarbon Evaluation, Proposed Southeastern New Mexico Radioactive Material Storage Site, Eddy County, New Mexico. SAND-71-7033. Vol. I and II. Sipes, Williamson, and Aycock, Midland, TX.
- *KELLEY, V.A. & SAULNIER, J. R. (1990): Core Analyses for Selected Samples from the Culebra Dolomite at the Waste Isolation Pilot Plant Site. SAND-90-7011. Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM.
- *KRIEG, R. D. (1984): Reference Stratigraphy and Rock Properties for the Waste Isolation Pilot Plant (WIPP) Project, SAND83-1908, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM. (Abstract in Powers & Martin 1993).
- *LAMBERT, S. J. (1992a): Fossil meteoric groundwaters in the Delaware Basin of southeastern New Mexico, U.S.A. Sandia Report SAND-89-2660. Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM.
- *LAMBERT, S. J. (1992b): Geochemistry of the Waste Isolation Pilot Plant (WIPP) Site, southeastern New Mexico, U.S.A. Sandia Report SAND-91-0612. Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM.
- LAPPIN, A. R. (1988): Summary of Site-Characterization Studies Conducted From 1983 Through 1987 at the Waste Isolation Pilot Plant (WIPP) Site, Southeastern New Mexico. SANDIA REPORT SAND88-0157. Albuquerque, NM: Sandia National Laboratories.
- *MERCER, J. W. (1983): Geohydrology of the Proposed Waste Isolation Pilot Plant Site, Los Medaños Area, Southeastern New Mexico. in Title 40 CFR Part 191 Compliance Certification Application for the Waste Isolation Pilot Plant. - U.S. Department of Energy (DOE), Albuquerque, NM.
- *MERCER, J. W., COLE, D. L. & HOLT, R. M. (1998): Basic data report for drillholes on the H-19 hydropad (Waste Isolation Pilot Plant - WIPP) Sandia Report SAND-98-0071, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM
- *MELLEGARD, K. D.; MUNSON, D. E. (1997): Laboratory creep and mechanical tests on salt data report (1975-1996): Waste Isolation Pilot Plant (WIPP) thermal/structural interactions program. SAND-96-2765, 523 p.
- *MUNSON, D. E., MATALUCCI, R. V., HOAG, D. L. et al. (1997): Construction of the thermal/structural interactions In-situ tests at the Waste Isolation Pilot Plant (WIPP). SAND-87-2685. 225 p.
- *MUNSON, D. E., JENSEN, A. L., WEBB, S. W. & DE VRIES, K. L. (1996): Brine Release Based on Structural Calculations of Damage round an Excavation at the Waste Isolation Pilot Plant (WIPP), Proc. 2nd N. Am. Rock Mech. Symp., A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands, 1495-1500.
- *POWERS, D. W., LAMBERT, S. J., SHAFFER, S., HILL, L. R. & WEART, W. D. (1978): Geological Characterization Report, Waste Isolation Pilot Plant (WIPP) Site, Southeastern New Mexico. – Title 40 CFR Part 191 Compliance Certification Application for the Waste Isolation Pilot Plant. – U.S. Department of Energy (DOE), Carlsbad Field Office, Carlsbad, NM.

- *POWERS, D. W. & MARTIN, M. L. (1993): A select bibliography with abstracts of reports related to Waste Isolation Pilot Plant geotechnical studies (1972-1990). SAND-92-7277.
- *ROBERTS, R. M., BEAUHEIM, R. L. & DOMSKI, P. S. (1999): Hydraulic Testing of Salado Formation Evaporites at the Waste Isolation Pilot Plant Site: Final Report," SAND98-2537, Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico.
- *ROBINSON, K. L. (1997): Analysis of solutes in groundwaters from the Rustler formation at and near the Waste Isolation Pilot Plant site. Report SAND-86-0917, UC-721, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM.
- *ROGERS, A. M. & MALKIEL, A. (1979): A Study of Earthquakes in the Permian Basin of Texas-New Mexico. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 69, 843 - 865.
- SENSENY, P. E. (1990): Creep of Salt from the ERDA-9 Borehole and the WIPP Workings. SAND89-7098. Prepared by RE/SPEC Inc., Rapid City, SD. Albuquerque, NM: Sandia National Laboratories. [Hinweis: kostenpflichtig zu beziehen unter:
<http://www.ntis.gov/search/product.aspx?ABBR=DE90010384>]
- *SIEGEL, M. D., LAMBERT, S. J. & ROBINSON, K. L. (eds) (1991): Hydrogeochemical studies of the Rustler Formation and related rocks in the Waste Isolation Pilot Plant area, southeastern New Mexico. Sandia Report SAND83-0196. UC-721. Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM.
- *STORMONT, J. C. & DAEMEN, J. J. K. (1992): Laboratory study of gas permeability changes in rock salt during deformation, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr., 29, 325-342.
- *U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (DOE) (1980): Final Environmental Impact Statement, Waste Isolation Pilot Plant. DOE/EIS-0026, Vol. 1 and 2. Office of Environmental Restoration and Waste Management, Washington D.C.
- *U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (DOE) (1990): Final Safety Analysis Report. WP 02-9, Rev. 0. May 1990. Westinghouse Electric Corporation, Waste Isolation Division, Carlsbad, NM.
- *U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (DOE) (2001): Safety Evaluation Report of the Waste Isolation Plant, Safety Analysis Report. DOE/CBFO-97-1224, Rev. 1, May, 2001. Carlsbad Field Office, Carlsbad, NM.
- *U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (DOE) (2003): Strategic Plan for Groundwater Monitoring at the Waste Isolation Pilot Plant, DOE/WIPP 03-3230, February 2003, Carlsbad Field Office, Carlsbad, NM.
- *U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (DOE) (2004a): Title 40 CFR Part 191 Compliance Recertification Application, DOE/WIPP 2004-3231, March 2004, Carlsbad Field Office, Carlsbad, NM.
- *U.S. Department of Energy (DOE) (2004b): Compliance Recertification Application, Title 40 CFR 191, Subparts B & C, WIPP Baseline Tool. Chapter 2 - Site Characterisation. Appendix BH - Borehole Data Report DOE/WIPP 95-2092 rev 1, July 1996.
- *U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) (1998): "40 CFR Part 194: Criteria for the Certification and Re-Certification of the Waste Isolation Pilot Plant's Compliance with the Disposal Regulations: Certification Decision; Final Rule." Federal Register, Vol. 63, No. 95, pp. 27396, May 18, 1998. Office of Radiation and Indoor Air, Washington D.C.
- *WAWERSIK, W. R., CARLSON, L. W., HENFLING, J. A., BORNS, D. J., BEAUHEIM, R. L., HOWARD, C. L. & ROBERTS, R. M. (1997): Hydraulic fracturing tests in anhydrite interbeds in the WIPP, Marker Beds 139 and 140. SAND-95-0596. Albuquerque, NM: Sandia National Laboratories.
- *WEART, W. D. (1983): Summary Evaluation of the Waste Isolation Pilot Plant (WIPP) Site Suitability, SANDIA REPORT SAND-83-0450. Albuquerque, NM: Sandia National Laboratories.
- *WEART, W. D. (1996): Summary of scientific investigations for the Waste Isolation Pilot Plant, SAND-96-0326C. Albuquerque, NM: Sandia National Laboratories.

WIPP	Erkundungs- methoden: 1-9 übertägig 10-14 untertägig	Fernerkundung	Geophysik (übertägig)	Geophysik (im Bohrloch)	Geol. Kartierung	Bohrungen	Feldmessungen - Geohydraulik	Feldmessungen - Geochemie	Feldmessungen - Geomechanik	Labor	Geophysik	geologische Kartierung	Bohrungen	In-situ- Messungen	Labor
	Bezeichnungen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Inhalte der Themenkomplexe															
Regionale Geologie (20 km*20 km)															
Wirtsgestein / Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)	A1														
Stratigraphie	A2														
Strukturgeologie und Tektonik (Störungsmuster, Faltung)	A3														
Regionales Spannungsfeld	A4														
Temperatur und Wärmeleitfähigkeit	A5														
Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z.B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)	A6														
Rohstoffvorkommen	A7														
Eigenschaften des Wirtsgesteins und des Deckgebirges am Standort															
Lithologie	B1														
Geometrie (Tiefenlage, Ausdehnung)	B2														
Makro-Struktur (Großgefüge: Störungen / Faltungen / Deformationen / Klüfte)	B3														
Mikro-Struktur (Korngefüge / Porenstruktur)	B4														
In-situ-Spannungsverhältnisse	B5														
Mineralogie	B6														
Petrophysikalische Eigenschaften (Probenmaßstab):															
Gesteinsmechanik (z.B. Festigkeit, Kriechen)	B7a														
Hydraulik (z.B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)	B7b														
Diffusion	B7c														
Thermik	B7d														
THMC-Kopplung	B7e														
Chemismus (z.B. Oxidation, Adsorption)	B7f														
Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)															
Hydraulisch wirksame Einheiten	C1														
Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein	C2														
Fließ- und Speicherparameter	C3														
Zwei-Phasenfluss-Parameter	C4														
Hydrochemie															
Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)	D1														
Porenwasserchemismus	D2														
Transporteigenschaften	D3														
Kolloide usw.	D4														

Erkundungsaktivität

Erkundungsaktivität ohne eine Bewertung bzgl. der Qualitäts- bzw. Quantitätskategorien

Anhang 6

Dokumentation -
internationale Standorte in
Tonen / Tonsteinen

Standort:	Benken (Schweiz)
Name - Typ:	Tiefbohrung Benken
Lage:	im Kanton Zürich, im Norden der Schweiz; im Zürcher Weinland
Betreiber:	NAGRA
Fläche:	50 km ² (Kombination Sondierbohrung und 3D-Seismikkampagne)
Erschließung/ Teufenlage:	Die Tiefbohrung Benken (1998 - 2001) durchteufte das gesamte mesozoische Sedimentpaket und erreichte das kristalline Grundgebirge in etwa 980 m Tiefe. Die Bohrung hat eine Endtiefe von 1.007 m. Es wurde ein bautechnischer Nachweis für eine modellhafte, nicht weiter konkretisierte Lokation in einer Tiefe von 650 m erbracht.
Geologie:	<p>Die Schichten vom obersten Keuper bis zum unteren Malm bestehen überwiegend aus tonig-mergeligen Gesteinen; sie bilden zusammen einen geringdurchlässigen Schichtstoß von etwa 300 Meter. Darin eingebettet befindet sich die Gesteinseinheit Opalinuston/Murchisonae-Schichten, als praktisch undurchlässige, 113 m mächtige Serie.</p> <p>Die Mittelebene des Opalinustons variiert im Untersuchungsgebiet zwischen ca. 450 m und ca. 850 m unter Terrain. Als Zentrum des Lagerbereiches BE/HAA wird für den bautechnischen Machbarkeitsnachweis eine Tiefenlage unter Terrain von ca. 650 m vorgegeben. Die Schichtmächtigkeit beträgt zwischen ca. 100 m und 120 m. Für das Projekt Opalinuston wird von 100 m ausgegangen. Die Schichtneigung bewegt sich zwischen ca. 3° und 6°. Für die Planung wird von 4° ausgegangen. Der Opalinuston ist gleichmäßig gelagert, so dass für Projektierungszwecke über einen Bereich im Streichen von ca. 2 km und im Fallen von ca. 1 km die obere und untere Begrenzung der Formation als zueinander parallele Ebenen angenommen werden können. Im oben genannten Bereich von ca. 2 km auf 1 km kann davon ausgegangen werden, dass keine auslegungsbestimmenden Störzonen zu erwarten sind.</p>
Historie:	<p>1985 legte die Entsorgungsgesellschaft NAGRA mit dem sogenannten "Projekt Gewähr" eine Studie über die Realisierbarkeit eines Endlagers im Kristallingestein der Nordschweiz vor. Da diese Studie den Nachweis der Realisierbarkeit nicht vollständig erbringen konnte, ordnete die Regierung weitere Untersuchungen an, die auch auf Sediment als Wirtsgestein ausgedehnt werden sollten. Nach einem breiten Auswahlverfahren, in das unter anderem mögliche Standorte in Weiach und Böttstein einbezogen waren, entschied sich die NAGRA im Jahr 1994, die weiteren geologischen Untersuchungen auf das Gestein Opalinuston im Zürcher Weinland zu konzentrieren.</p> <p>Im Zürcher Weinland wurde erstmals in der Schweiz eine flächendeckende 3D-Seismikmessung über ein Gebiet von 50 km² durchgeführt. Die Untersuchungen bestätigten die Resultate der früheren 2D-Seismik: Die Gesteinsschichten sind im größten Teil des Gebietes kaum deformiert. Die Sondierbohrung dient der allgemeinen Datenerhebung, dem Abgleich mit 2D- und 3D-Seismikdaten und der weiteren Charakterisierung des Opalinustons.</p> <p>Die Ergebnisse einer Tiefbohrung bei Benken und einer seismischen Erhebung der Region bildeten die Grundlage für eine neue Machbarkeitsstudie, die den Behörden im Dezember 2002 übergeben wurde.</p>

Benken, Schweiz

INFO:

1994 wurde aus geologischen Gründen die Region „Zürcher Weinland“ zur Region erster Priorität für lokale Erkundungen im Opalinuston im Kanton Zürich erklärt.

Dort führte die NAGRA ab 1997 ein Untersuchungsprogramm durch, das auf der Kombination einer Bohrung mit flächendeckender 3D-Seismik beruhte.

Weitere Erkundungen des Tons finden seit 1996 im internationalen Forschungsprojekt Mont Terri (Kanton Jura) statt. Dort werden erste hydrogeologische und geochemische Untersuchungen in einem Felslabor untertage detailliert durchgeführt.

Endteufe Bohrung Benken: 1.007 m

Bezugsfläche für die Quantitätseinstufungen von 8 km^2 entspricht der Fläche, in der die 3D-Seismikuntersuchungen gemacht wurden. Das Bezugsvolumen liegt entsprechend der Bohrungsendteufe bei ca. 8 km^3 .

A Regionale Geologie (20 km x 20 km)

Das regionale Untersuchungsprogramm der NAGRA lief in der Nordschweiz von 1982 bis 1993 und führte zu Erkundungen im lokalen Rahmen und künftig bei Bedarf zur Detailcharakterisierung des Untergrundes an einem Standort. (Anm. GA: entspricht AkEnd-Verfahrensschritt 3)

Das Programm umfasste:

- ein Bohrprogramm mit 7 überwiegend gekernten Tiefbohrungen, mit umfangreichen petrophysikalischen und hydrogeologischen Messungen (Gesteinsanalyse im Bohrloch, hydraulische Packer-tests und Wasserprobenentnahmen, Untersuchungen an Kernproben)
- Langzeitbeobachtungen der Tiefengrundwasser-Druckverhältnisse
- geophysikalische Untersuchungen an der Erdoberfläche (Gravimetrie, Aeromagnetik, Magnetotellurik, Geothermie, 232 km Refraktions- und 400 km Reflexionsseismik)
- eine geologische Kartenkompilation der zentralen Nordschweiz im Maßstab 1 : 100.000
- neotektonische Untersuchungen: Installation von neun Erdbebenmessstationen zur Erfassung der Mikroerdbeben, hochauflösende geodätische Messungen (horizontale und vertikale Krustenbewegungen), geomorphologische Studien, Messungen des rezenten Spannungsfeldes.

Dieses Untersuchungsprogramm in der Nordschweiz diente in erster Linie der Erkundung des kristallinen Grundgebirges, der Abklärung seiner Eignung als Wirtsgestein und der Abgrenzung möglicher Standortgebiete. Mit den Untersuchungen, namentlich den meisten Tiefbohrungen und mit den seismischen Messungen, sind jedoch immer auch Daten über die Sedimentgesteine des paläozoischen Sockels sowie des mesozoischen und tertiären Deckgebirges erhoben worden. Als nach Einreichung des Projektes „Gewähr“ - neben der Weiterführung des Kristallinprojektes - die Option der Sedimentgesteine verstärkt in die Evaluation einbezogen wurde, verfügte man über einen bereits gut fundierten Wissensstand über das sedimentäre Deckgebirge.

A1 Wirtsgestein/Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)

A1.1 Fernerkundung

A1.2 Geophysik (übertägig)

Seismik:

Insgesamt wurden 235 km *reflexionsseismische* Linien (in einem Gebiet von ca. 15 x 80 km) gemessen (1991/1992), um das bis dahin bestehende Profilnetz im Gebiet „Lägern-Weinland“ zu verdichten. Die Messungen bestanden aus 11 Profilen mit Längen zwischen 8 und 32 km in einem Abstand von 4 bis 6 km. Sie ermöglichten eine Korrelation geologischer Schichten zwischen 3 Bohrungen. 87% der Profile wurden mit Vibroseis gemessen, der Rest war Schussseismik; Geophongruppenabstand und Anregungspunktabstand betrugen 20 m, der Überdeckungsgrad ist 96-fach. Die Geophone wurden z.T. eingegraben. Zusammen mit Profilen früherer NAGRA- und Fremdkampagnen (1982 - 1984) existieren insgesamt 900 Profilkilometer. Die Tiefenumwandlung der Daten erfolgte mittels eines auf Boh-

rungsinformationen basierenden, regionalen Geschwindigkeitsmodells. Ziele waren u.a. die Lage der Felsoberfläche unter den Lockergesteinsmassen zu orten und eine Abgrenzung eines potenziellen Standortgebietes im Opalinuston festzulegen. Basierend auf Bohrdaten konnten die Ergebnisse der seismischen Kartierung erfolgreich extrapoliert werden, um die Mächtigkeiten des Wirtsgesteins zu ermitteln (Isopachenkarte ± 10 m). Als Ergebnisse entstanden u.a. eine Isochronenkarte im Maßstab von 1 : 50.000 der seismischen Markerhorizonte und eine Fels-Isohypsenkarte. Im hier untersuchten Standort war die Basis des Wirtsgesteins direkt seismisch darstellbar, dessen Oberfläche hingegen war lediglich anhand synthetischer Seismogramme interpretierbar. Die Kombination von Seismik und 11 Aufzeitmessungen mit Bohrdaten konnte erfolgreich eingesetzt werden, um die Geometrie des überlagernden Rahmengesteins in Form von Quartärrinnen mit Vertiefungen bis 300 m unter Terrain festzustellen und zu lokalisieren.

NAGRA (1994)

Refraktionsseismik: Zur Erkundung der Lockergesteinsschichten vor allem bei übertiefen Quartärtälern wurden kurze refraktionsseismische Profile aufgenommen.

NAGRA (1994)

Qualität: 2 Quantität: 2

A1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A1.4 Geol. Kartierung

A1.5 Bohrungen

A1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A1.7 Feldmessungen - Geochemie

A1.8 Feldmessungen - Geomechanik

A1.9 Labor

A1.10 Untertage Geophysik

A1.11 Untertage geol. Kartierung

A1.12 Untertage Bohrungen

A1.13 Untertage In-situ Messungen

A1.14 Untertage Labor

A2 Stratigraphie

A2.1 Fernerkundung

A2.2 Geophysik (übertägig)

Seismik:

Siehe A1.2

Reflexionsseismik in Kombination mit Bohrungen ermöglichte die Korrelation von Schichten.

NAGRA (1994)

Qualität: 2 Quantität: 2

A2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Walkaway-VSP, Sonic- und Dichte-Log und damit erstellte synthetische Seismogramme hatten die Funktion, geophysikalische Referenzdaten zur Kalibrierung der oberflächenseismischen Daten zu erhalten.

NAGRA (1996)

Qualität: 2 Quantität: 1 - 2

A2.4 Geol. Kartierung**A2.5 Bohrungen****A2.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A2.7 Feldmessungen - Geochemie****A2.8 Feldmessungen - Geomechanik****A2.9 Labor****A2.10 Untertage Geophysik****A2.11 Untertage geol. Kartierung****A2.12 Untertage Bohrungen****A2.13 Untertage In-situ Messungen****A2.14 Untertage Labor****A3 Strukturgeologie und Tektonik****A3.1 Fernerkundung****A3.2 Geophysik (übertägig)**Seismik:

Siehe A1.2

Ziel der Messungen war u.a. eine tektonische Charakterisierung des potenziellen Standortgebietes im Opalinuston. Basierend auf der *reflexionsseismischen* Erkundung von 1991/1992 und z.T. durch das Reprocessing älterer Daten konnte eine bereits vorhandene strukturgeologische Synthese ergänzt und verfeinert werden und letztendlich eine regionale strukturgeologischen Übersichtskartierung stattfinden (Strukturpläne, geologische Profile 1 : 50.000), womit u.a. die Ausweisung von Störungszonen erfolgte. Der Detaillierungsgrad der Synthese hängt von der Bohrdichte ab.

NAGRA (1994)

Qualität: 2 Quantität: 2

A3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**A3.4 Geol. Kartierung****A3.5 Bohrungen****A3.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A3.7 Feldmessungen - Geochemie****A3.8 Feldmessungen - Geomechanik****A3.9 Labor****A3.10 Untertage Geophysik****A3.11 Untertage geol. Kartierung****A3.12 Untertage Bohrungen****A3.13 Untertage In-situ Messungen****A3.14 Untertage Labor****A4 Regionales Spannungsfeld****A4.1 Fernerkundung****A4.2 Geophysik (übertägig)**

A4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**A4.4 Geol. Kartierung****A4.5 Bohrungen****A4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A4.7 Feldmessungen - Geochemie****A4.8 Feldmessungen - Geomechanik****A4.9 Labor****A4.10 Untertage Geophysik****A4.11 Untertage geol. Kartierung****A4.12 Untertage Bohrungen****A4.13 Untertage In-situ Messungen****A4.14 Untertage Labor****A5 Temperatur und Wärmeleitfähigkeit****A5.1 Fernerkundung****A5.2 Geophysik (übertägig)****A5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

Die Temperatur-Logs hatten das Ziel, die Temperaturverhältnisse im Wirtsgestein zu ermitteln.

NAGRA (1996)

2 Monate nach der Bohrung wurde ein Temperatur-Profil der Spüllösung in der Bohrung Benken (AMS-Profil) bis in die unzementierte Teufe von 803 m aufgenommen. Die Genauigkeit der Ruhetemperatur liegt bei $\pm 0,7^{\circ}\text{C}$. Der Vergleich mit Werten von Langzeitbeobachtungssystemen zeigt eine gute Übereinstimmung mit Temperaturdifferenzen aus benachbarten Systemen. Anomalien im Temperatur-Profil sind auf Ausbrüche in der Bohrlochwand oder Wasserzuflüsse zurückzuführen.

NAGRA (2001)

Qualität: 2 - 3

Quantität: 1 - 2

A5.4 Geol. Kartierung**A5.5 Bohrungen****A5.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A5.7 Feldmessungen - Geochemie****A5.8 Feldmessungen - Geomechanik****A5.9 Labor****A5.10 Untertage Geophysik****A5.11 Untertage geol. Kartierung****A5.12 Untertage Bohrungen****A5.13 Untertage In-situ Messungen****A5.14 Untertage Labor****A6 Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z. B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)****A6.1 Fernerkundung****A6.2 Geophysik (übertägig)**

A6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**A6.4 Geol. Kartierung****A6.5 Bohrungen****A6.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A6.7 Feldmessungen - Geochemie****A6.8 Feldmessungen - Geomechanik****A6.9 Labor****A6.10 Untertage Geophysik****A6.11 Untertage geol. Kartierung****A6.12 Untertage Bohrungen****A6.13 Untertage In-situ Messungen****A6.14 Untertage Labor****A7 Rohstoffvorkommen****A7.1 Fernerkundung****A7.2 Geophysik (übertägig)**Seismik:

Siehe A1.2

Basierend auf *reflexionsseismischen* Kampagnen wurde eine Fels-Isohypsenkarte erstellt, welche durch die Kartierung der Grundgebirgs-Oberfläche als Grundlage zur Beurteilung möglicher Kohlen- und Kohlenwasserstoffvorkommen dient.

NAGRA (1994)

Qualität: 2 Quantität: 2

A7.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**A7.4 Geol. Kartierung****A7.5 Bohrungen****A7.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A7.7 Feldmessungen - Geochemie****A7.8 Feldmessungen - Geomechanik****A7.9 Labor****A7.10 Untertage Geophysik****A7.11 Untertage geol. Kartierung****A7.12 Untertage Bohrungen****A7.13 Untertage In-situ Messungen****A7.14 Untertage Labor**

B Eigenschaften des Wirtsgesteins und des Deckgebirges am Standort

Definition Wirts- und Rahmengestein aus Ergebnissen von Voruntersuchungen (NAGRA, 2002):

- *Malm-Aquifer: Malmkalke*
- **Oberes Rahmengestein:** *Effinger Schichten bis Wedelsandstein-Formation, Abfolge gering durchlässiger Schichten mit Einschaltungen von potenziell wasserführenden Schichten*
- **Wirtsgestein:** *Opalinuston, Abfolge gering durchlässiger Schichten*
- **Unteres Rahmengestein:** *Lias bis Keuper, Abfolge von gering durchlässigen Schichten mit Einschaltungen von potenziell wasserführenden Schichten (z.T. gering mächtige Aquifere mit beschränkter lateraler Kontinuität)*
- *Muschelkalk-Aquifer: Oberer Muschelkalk (inkl. Dolomit der Anhydritgruppe)*

Eine Tektonische Übersichtskarte im Maßstab 1 : 400.000 und mehrere geologische Schnitte im Maßstab 1 : 100.000 dienten als Basis für weitere Arbeiten (NAGRA, 2002).

B1 Lithologie/Stratigraphie**B1.1 Fernerkundung****B1.2 Geophysik (übertägig)**Seismik:

Hochauflösende *3D-Reflexionsseismik* (siehe B2.2) u.a. zur Analyse fazieller Änderungen. Mit der Methode ist eine großräumige und sehr detaillierte Darstellung der lithostratigraphischen Verhältnisse des Wirtsgesteins bei einer vertikalen Auflösungsgenauigkeit von 12 bis 15 m zur Separation von Gesteinsschichten möglich. Durch die Auswertung seismischer Attribute und der Kohärenz können kleinere Diskontinuitäten sichtbar gemacht werden, die auch mit einem engen 2D-Maschennetz nicht erfassbar wären.

NAGRA et al. (2001)

Qualität: 3 Quantität: 3

B1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Petrophysikalische Bohrlochmessungen und Struktur-Logs in Kombination mit anderen, nicht-geophysikalischen Methoden hatten das Ziel, die Mächtigkeit, Lagerung und Lithologie der Bohrschnitte zu erkunden.

NAGRA (1996)

In der Bohrung Benken erfolgten 3 Messreihen für 3 unterschiedliche Tiefen zwischen 92,5 m und 1.007 m, z.T. nach Aufweiten des Bohrlochs in 4 bis 6 Messfahrten mit z.T. variierenden Sonden. Z.T. kam dabei eine neu entwickelte IPL-Sonde zur Anwendung, welche Gamma-Gamma-Log (LDT), Neutron-Log mit künstlicher Neutronenquelle (APS anstelle des CT) und Gammaspektrometrie (NGT) vereint und so integrierte Porositäts- und Lithologiemessungen (IPL) ermöglicht. Bestimmung des photoelektrischen Faktors (LDT) als Lithologieindikator. Elemental Capture Spectroscopy (ECS) (Ermittlung Si, Fe, Ca, S, Ti, Gd) zur lithologischen Charakterisierung (damalige Neuentwicklung, siehe auch B6.3). Messung der Temperatur und Leitfähigkeit der Spüllösung. Eigenpotenzial-Messungen (SP).

Generell konnte eine gute bis sehr gute Datenqualität erzielt werden, außer in Auskesselungsbereichen, welche wiederum v.a. in ton- und salzreichen Abschnitten (also auch dem Wirtsgestein) auftraten. Dort reduzierte sich die Datenqualität v.a. bei Sonden, die einen direkten Kontakt zur Bohrwand benötigen (MSFL, LDT/IPL, CMR). Bei der Übereinstimmung der Teufen der Logs traten bis zu 1,8 m Abweichung zwischen Bohrkern und Verrohrung auf. Die Messserien zeigten jedoch eine gute Übereinstimmung mit maximalen Abweichungen von wenigen dm, was anhand der Gamma-Ray-Messungen belegbar war. Die physikalisch-technische Charakterisierung der Schichten mit Hilfe der Bohrlochgeophysik stellte v.a. in den obersten gemeißelten Bereichen die einzige Information zur stratigraphischen und lithologischen Gliederung dar. Die verwendeten Methoden erwiesen sich für die vorhandenen Sedimente als gut geeignet, um In-situ-Formationsparameter zu erfassen. Es ist ein

detailliertes Bild der lithologischen Verhältnisse sowie eine sehr gute Unterscheidung von tonhaltigen und kalkreichen Sedimenten möglich, v.a. mit Hilfe der GR-Werte, Sonic-Geschwindigkeiten, Kaliber-Undulationen und elektrischen Widerständen.

NAGRA (2001)

Bohrlochseismik (S. 247):

Checkshot (CS)-Messungen (Geophon-Versenkmessungen) zur Kalibrierung der seismischen Geschwindigkeiten. Aus DSI-Messung (Sonic-Log) und mit Hilfe der Dichte wurden synthetische Seismogramme berechnet, die als Hilfsmittel zur Identifizierung von seismischen Reflexionen und deren Zuordnung zu Gesteinsschichten dienen. Die dafür verwendeten Dichteangaben wurden editiert und an Kernproben kalibriert bzw. mussten z.T. durch Laborwerte ersetzt werden.

VSP zur teufenkalibrierten und bohrlochnahen Abbildung seismischer Reflektoren. Insbesondere *Walkaway-VSP* zur lateralen Verfolgung von Reflektoren bis in 100 m Abstand vom Bohrloch (S. 251). Es wurden 2 Walkaway-Profile aufgenommen: Die Quellpunkte liegen 200 bis 500 m von der Bohrung entfernt, Geophonabstand 10 m, Mini-Vibrator als Anregung, 12 Drei-Komponenten-Geophone, 2 ms Sample-Rate. Ziel war die hochaufgelöste bohrlochnahe Abbildung der seismischen Reflektoren und die Teufenkalibrierung der übertägigen 3D-Seismik mit Hilfe der Bohrlochseismik, um die Bohrlochergebnisse lateral extrapolieren zu können. Die VSP-Sektionen lieferten Untergrundinformationen in bis zu 200 m Entfernung von der Bohrung. Durch VSP konnte ein hochauflösendes Bild in dem Bereich erreicht werden, wo die 3D-Seismik eine schlechte Auflösung aufweist. Zwischen Walkaway-VSP's, 3D-Oberflächenseismik und synthetischen Seismogrammen bestand eine gute Übereinstimmung. Optimale Korrelation konnte durch tieffrequentes VSP erzielt werden. Durch Walkaway-VSP konnte eine Verbesserung der Erkennbarkeit und Auflösung von Reflektoren der 3D-Seismik erreicht werden. Es sind eindeutige Stratigraphiezuordnungen der einzelnen Reflektoren möglich sowie eine sichere Identifikation der seismischen Reflektoren und eine gute Extrapolation der Bohrlochergebnisse im Bereich der 3D-Seismik.

NAGRA (2001)

Qualität: 3 Quantität: 1 - 2

B1.4 Geol. Kartierung

Da sowohl das Rahmen- als auch das Wirtsgestein unter Überdeckung liegen, geben geologische Kartierungen an der Oberfläche keine relevanten Ergebnisse in Bezug auf den geologischen und tektonischen Aufbau. Eine Kartierung wurde daher nicht durchgeführt.

NAGRA (2002)

B1.5 Bohrungen

Bohrung Benken:

Im September 1998 wurde mit der gekernten Sondierbohrung Benken begonnen; der Abschluss der Bohrarbeiten erfolgte im Mai 1999. *(Die bau- und bohrtechnischen Aspekte sind in einem separaten Bericht publiziert (MACEK & GASSLER, 2001)).*

NAGRA (2002)

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B1.7 Feldmessungen - Geochemie

B1.8 Feldmessungen - Geomechanik

B1.9 Labor

B1.10 Untertage Geophysik

B1.11 Untertage geol. Kartierung

B1.12 Untertage Bohrungen

B1.13 Untertage In-situ Messungen**B1.14 Untertage Labor****B2 Geometrie****B2.1 Fernerkundung****B2.2 Geophysik (übertägig)**Seismik:

Hochauflösende *3D-Reflexionsseismik* im engeren Untersuchungsgebiet 1997 (ca. 50 km²) unter Kalibrierung der seismischen Messung mittels Bohrung zur kleinräumigen Abbildung der Geometrie des Wirtsgesteins und zur Erforschung des tieferen Untergrundes im Zürcher Weinland (Parameter siehe NAGRA 2001b, S.11). Der Bereich der Bohrung Benken zeichnete sich durch schlechte Auflösung aus, was durch sumpfigen Boden verursacht wurde.

BIRKHÄUSER et al. (2001)

Bei der o.g. *3D-Reflexionsseismik* konnten fast alle der 9.000 geplanten Anregungspunkte realisiert werden, was diese als bis dato (2001) umfangreichste Untersuchung dieser Art in der Schweiz ausweist. Die Methode ist eine Weiterentwicklung aus der Kohlenwasserstoffexploration und ermöglicht eine lückenlose Abtastung des Untergrundes im gewünschten Tiefenbereich in einem regelmäßigen Raster von 15 x 15 m. Die Wahl der Feldparameter baut auf den regionalen seismischen Profilmessungen von 1991/1992 auf. Geophon- und Anregungspunkte-Abstand jeweils 30 m, Geophonlinien- und Anregungslinien-Abstand 180 m, Spreng-/Vibrationsseismik, 1 (6 bis 12 m tief, 600 g) oder 3 (2, 5 m tief, je 200 g) Schusslöcher pro Anregungspunkt, 20-facher Überdeckungsgrad. Ziele waren u.a. eine lückenlose Abbildung des mesozoischen Untergrundes, die Abklärung der Mächtigkeitsverteilung und eine laterale Extrapolation der Bohrbefunde Benken. Es besteht eine gute Korrelation mit den seismischen Abbildungen des Walkaway-VSP (siehe B1.3) der Bohrung Benken. Aufgrund der erfolgreichen lokalen Kalibrierung mittels Bohrlochgeophysik der Bohrung Benken (Sonic- und Dichtelog als Grundlage des synthetischen Seismogramms, Walkaway-VSP) ist eine weitgehende Übertragung der Bohrerkenntnisse auf die strukturelle und stratigraphische Interpretation des 3D-Datensatzes hinsichtlich Mächtigkeit des Wirtsgesteins, Kartierung und Charakterisierung von Strukturen, Trends zu stratigraphischen Änderungen im restlichen Untersuchungsgebiet wie z.B. Ausdünnen von Schichten etc. möglich. Kleinere Unregelmäßigkeiten der Schichtung sind bis in den Meterbereich sichtbar. Durch die Einbindung von Walkaway-VSP-Daten kann der lokal erhöhte Rauschanteil der 3D-Messung überbrückt werden.

BIRKHÄUSER et al. (2001)

Qualität: 3 Quantität: 3

B2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**B2.4 Geol. Kartierung****B2.5 Bohrungen****B2.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B2.7 Feldmessungen - Geochemie****B2.8 Feldmessungen - Geomechanik****B2.9 Labor****B2.10 Untertage Geophysik****B2.11 Untertage geol. Kartierung****B2.12 Untertage Bohrungen****B2.13 Untertage In-situ Messungen****B2.14 Untertage Labor****B3 Makro-Struktur****B3.1 Fernerkundung**

B3.2 Geophysik (übertägig)

Seismik:

Hochauflösende *3D-Reflexionsseismik* (ca. 50 km²) (siehe auch B2.2). Geplante Ziele waren u.a. die Visualisierung von Strukturen mit Versätzen von 8 bis 15 m (NAGRA, 2001b). Es wurden Strukturen mit Versätzen > 10 m lokalisiert. Durch sumpfigen Boden existierte speziell im Bereich der Bohrung Benken eine schlechte Auflösung.

BIRKHÄUSER et al. (2001)

Mit der o.g. *3D-Reflexionsseismik* ist eine großräumige und sehr detaillierte Darstellung der strukturgeologischen Verhältnisse des Wirtsgesteins möglich. Die vertikale Auflösungsgenauigkeit zur Separation von vertikalen Versätzen entlang steilstehender Störungen beträgt ≥ 10 m. Strukturen mit einem Versatz > 4 m sind qualitativ erfassbar, sofern die laterale Ausdehnung > 100 m beträgt.

BIRKHÄUSER et al. (2001)

Qualität: 3 Quantität: 3

B3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Strukturlogs mittels *Formation Micro Imager* und *Scanner* (FMI/FMS), welche den elektrischen Widerstand und das Bohrloch-Kaliber messen. Der *Ultrasonic Borehole Imager* (UBI) als Weiterentwicklung des Televewers tastet die Bohrlochwand mittels Ultraschallstrahl ab und erzeugt eine Abbildung der Bohrlochwand und des -querschnitts, wodurch die Strukturen der Bohrlochwand erkennbar werden (S. 23, 126). Diese Daten werden mit den Kernabwicklungen der Bohrkerne abgeglichen. Ziele sind neben der indirekten Re-Orientierung der absoluten Raumlage der Kerne, die Erfassung und Orientierung von Schichtgrenzen, Störungen und Klüften sowie Inhomogenitäten an der Bohrlochwand und eine strukturgeologische Auswertung. Die Option der automatischen Strukturerkennung lieferte nur bei flachliegenden Strukturen gute Ergebnisse, bei Bohrlochrandausbrüchen durch Störungen oder hohen Tonanteil konnten keine sinnvollen Ergebnisse erzielt werden. Über die Option der manuellen Auswertung sind Schieferung und Schichtung am Bohrkern identifizierbar. Diese direkte strukturgeologische Auswertung erwies sich vor allem in den gemeißelten Bohrlochabschnitten als bedeutsam. Für die Erfassung spannungsinduzierter Risse und Auskesselungen erwies sich UBI geeigneter als FMI. Mit FMI waren Störungen und Klüfte zu beobachten. Durch Kombination von FMI und UBI sind ergänzende Aussagen zur Art der Strukturen möglich. Es bestand eine gute Korrelation von FMI mit Kernen und Kernphotos, wodurch eine gute Teufenkorrelation und Orientierung möglich war. Die generell gute bis sehr gute Datenqualität konnte in Auskesselungsbereichen nicht erreicht werden.

NAGRA (2001)

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1 - 2

Qualität wurde etwas reduziert, da in einigen Bereichen, darunter auch in den Wirtsgesteinsbereichen, die Datenqualität reduziert war.

B3.4 Geol. Kartierung

B3.5 Bohrungen

Im Rahmen der Bohrkernaufnahme erfolgte eine Kartierung von Sprödbbruchstrukturen an Bohrkernen, wobei sich Störungen, Bruchzonen, Verschiebungsflächen oder Klüfte aushalten lassen. Insgesamt werden im Bereich der Opalinustonschichten der Bohrung Benken nur äußerst wenige Sprödbstrukturen nachgewiesen, bei denen es sich zumeist um engräumig begrenzte Verschiebungsflächen oder zumeist verheilte Klüfte im mm-Maßstab handelt. Eine Ausnahme bildet eine 10 cm mächtige Störungszone (601,82 bis 601,95 m). Die insgesamt nur 8 vorgefundenen Klüfte werden als Elemente von Scherstrukturen interpretiert. In Verbindung mit Beobachtungen an Oberflächenaufschlüssen wird gefolgert, dass die geringe Zahl von Störungen nicht auf mangelnde Repräsentativität, sondern eher auf selten vorkommende Störungen im Opalinuston des Nordschweizer Tafeljuras zurückzuführen ist.

NAGRA (2004)

Qualität: 3 Quantität: 2

B3.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B3.7 Feldmessungen - Geochemie****B3.8 Feldmessungen - Geomechanik****B3.9 Labor****B3.10 Untertage Geophysik****B3.11 Untertage geol. Kartierung****B3.12 Untertage Bohrungen****B3.13 Untertage In-situ Messungen****B3.14 Untertage Labor****B4 Mikro-Struktur****B4.1 Fernerkundung****B4.2 Geophysik (übertägig)****B4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B4.4 Geol. Kartierung****B4.5 Bohrungen****B4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B4.7 Feldmessungen - Geochemie****B4.8 Feldmessungen - Geomechanik****B4.9 Labor**

Die Untersuchung der Porenraumstruktur toniger Gesteine stellt analog zur Absolutbestimmung der Porosität eine Herausforderung dar (vgl. B7.9). Zur Bestimmung von Porengrößenverteilungen und spezifischer Oberfläche lassen sich aber die klassischen Verfahren, (z.B. Quecksilber- Porosimetrie) nicht sinnvoll einsetzen, da kleine Porenradien kleiner als einige nm nicht mehr injiziert werden und bei hohem Druck gleichzeitig strukturelle Veränderungen auftreten können.

Mit EGME („Ethylene Glycol Monoethyl Ether Method“) sowie Stickstoff- bzw. Wasserdampf- Adsorption- bzw. Desorptionsisothermen wurden vom Opalinuston aus der Bohrung Benken spezifische Oberfläche- sowie Porengrößenverteilungen bestimmt. Die dabei erzielten Kennwerte werden aufgrund der methodischen Unsicherheiten aber als ungenau eingeschätzt. Ähnliches gilt für den Bindungszustand des Porenwassers sowie dessen Zugänglichkeit für gelöste Stoffe.

Qualität: 1 (3)

Quantität: 1 (methodische Unsicherheiten führten zur Abwertung)

B4.10 Untertage Geophysik**B4.11 Untertage geol. Kartierung****B4.12 Untertage Bohrungen****B4.13 Untertage In-situ Messungen****B4.14 Untertage Labor****B5 In-situ-Spannungsverhältnisse****B5.1 Fernerkundung****B5.2 Geophysik (übertägig)**

B5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Siehe auch B7a.3

FMI-Abbildungen (siehe B3.3) eigneten sich zur Bestimmung der Hauptspannungsrichtung.

NAGRA (2001)

B5.4 Geol. Kartierung**B5.5 Bohrungen****B5.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B5.7 Feldmessungen - Geochemie****B5.8 Feldmessungen - Geomechanik**

In der Bohrung Benken kamen verschiedene Methoden für die Bestimmung des rezenten Spannungsfeldes zum Einsatz. Die Werte der Hydrofrac-Messungen (KLEE & RUMMEL, 2000) weisen auf eine Kompression hin und ergeben für SH eine Richtung von annähernd N-S ($178^\circ \pm 14^\circ$). Dass das Deckgebirge im Zürcher Weinland auch über geologische Zeiträume unter Kompression stand, wird durch das Auftreten von markanten Horizontalstylolithen bestätigt, deren Achsen ebenfalls eine N-S-Orientierung ($1^\circ \pm 10^\circ$) aufweisen (NAGRA, 2002). Dies wird als wichtiger Hinweis darauf gedeutet, dass sich das Spannungsfeld seit längerer Zeit nicht bedeutend geändert hat. Auch die Analysen der Bohrlochrandausbrüche, der induzierten Risse und der S-Wellengeschwindigkeitsanisotropie bestätigen eine generelle N-S-Richtung für die größte horizontale Spannungskomponente im Deckgebirge.

Qualität: 3 Quantität: 1 - 2 (gute Übereinstimmung von Vergleichsmethoden sowie der tektonischen Situation)

B5.9 Labor**B5.10 Untertage Geophysik****B5.11 Untertage geol. Kartierung****B5.12 Untertage Bohrungen****B5.13 Untertage In-situ Messungen****B5.14 Untertage Labor****B6 Mineralogie****B6.1 Fernerkundung****B6.2 Geophysik (übertägig)****B6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

Umfang siehe B1.3

Der Parameter GR (natürliche Gammastrahlung) wurde als Maß für den Tongehalt in Sedimenten bzw. als Referenzgröße für den Teufenvergleich zwischen unterschiedlichen Messungen verwandt. Gamma-Spektrometrie (NGT) zur Bestimmung der Konzentrationen von U, Th, K als Hilfsmittel zur Bestimmung und Charakterisierung des Tonanteils in Sedimentgesteinen. Elemental Capture Spectroscopy (ECS) zur Ermittlung der Gehalte an Si, Fe, Ca, S, Ti, Gd im Gestein als Basisdaten zur lithologischen Charakterisierung (damalige Neuentwicklung).

Generelles Ziel der Messungen ist die Darstellung eines kontinuierlichen Modells der Mineralogie im Bohrloch. Die physikalischen, messbaren Parameter sind direkt mit bestimmten Formationseigenschaften korrelierbar. Die Kombination mehrerer Logs erlaubt eine qualitative Analyse der Lithologie (Mineralogie). Nach Inversion (ELAN-Programm von SCHLUMBERGER) sind normalerweise auch quantitative Aussagen zur Mineralogie möglich, wobei hier aufgrund der unbefriedigenden Datenqualität in ausgekesselten Bereichen (v.a. Wirtsgestein) und durch systematische Messfehler keine Inversion möglich war. Anstelle dessen erfolgte eine Interpolation zwischen mineralogischen Labordaten, gesteuert von petrophysikalischen Parametern. Konkret erfolgten die Interpolationen basierend auf einem Modell aus 5 Messparametern (Porosität, Ton, Quarz, Anhydrit, Karbonat), welches mit Kernda-

ten kalibriert wurde. Aufgrund der technischen und geologischen Gegebenheiten musste die Bohrung in unterschiedliche Modelle unterteilt werden (S. 134).

NAGRA (2001)

Qualität: 2 Quantität: 1 - 2

Qualität 2 wegen reduzierter Datenqualität im Bereich des Wirtsgesteins

B6.4 Geol. Kartierung

B6.5 Bohrungen

B6.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B6.7 Feldmessungen - Geochemie

B6.8 Feldmessungen - Geomechanik

B6.9 Labor

An Kernproben aus der Bohrung Benken wurden quantitative Mineralanalysen (20 x) zur mineralogischen Zusammensetzung des Wirtsgesteins durchgeführt. Als Mineralphasen wurden Calcit, Dolomit/Ankerit, Siderit, Quarz, Kalifeldspat, Pyrit, C_{org} und Schichtsilikate bestimmt (spezifiziert für 5 x). Die in NAGRA (2002) dargestellten Ergebnisse der Bohrung Benken zeigen in Bezug auf andere Daten des Opalinustons in der Nordschweiz eine erhebliche Streuung. Unabhängig davon werden die Labordaten aufgrund der guten Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Geophysik-Logs als repräsentativ für das gesamte Wirtsgestein angesehen. Auf Basis beider Verfahren ließ sich der Opalinuston in fünf Zonen unterteilen.

Qualität: 2 Quantität: 1 - 2

(Anmerkung: Standardverfahren, wobei die Datenbasis nur eine vertikale Differenzierung erlaubt, während die Beobachtungen in Mont Terri auf eine erhebliche laterale Variabilität hinweisen.)

B6.10 Untertage Geophysik

B6.11 Untertage geol. Kartierung

B6.12 Untertage Bohrungen

B6.13 Untertage In-situ Messungen

B6.14 Untertage Labor

B7 Petrophysikalische Eigenschaften

B7a Gesteinsmechanik

B7a.1 Fernerkundung

B7a.2 Geophysik (übertägig)

B7a.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Umfang siehe B1.3

Dipol-Sonic-Imager (DSI) zur Bestimmung der Geschwindigkeiten von Kompressions- und Scherwellen, welche zusammen mit der Dichte zur Berechnung dynamischer elastischer Parameter wie Kompressionsmodul, Schermodul, Young's Modul und Poissonverhältnis dienen. Die Ergebnisse zeigen, dass DSI auch bei stark dämpfenden Gesteinen anwendbar ist und Scherwellenanisotropien vor allem durch Mikrorisse und spannungsinduzierte Risse verursacht werden.

Im Rahmen felsmechanischer Untersuchungen wurden Strukturmessungen zur Erkennung spannungsinduzierter Risse und Bohrlochrandausbrüche durchgeführt. FMI-Abbildungen (siehe B3.3) dienen zur Erkennung und Vermessung vertikaler Risse durch den Bohrvortrieb und/oder Hydrofrac. Mit UBI (siehe B3.3) sind Bohrlochrandausbrüche deutlich zu erkennen. Bohrloch-TV (BHTV) zur Erken-

nung und Vermessung von induzierten Risspuren im Bohrloch. Bohrlochrandausbrüche und induzierte Risse wurden mit UBI, FMI, FMS und 6-Arm-Kaliber-Logs erfasst.

Kaliber-Messungen (CAL, EMC) zur Bestimmung des Bohrlochdurchmessers. GPIT als Orientierungseinheit.

NAGRA (2001)

Qualität: 2 Quantität: 1 - 2

B7a.4 Geol. Kartierung

B7a.5 Bohrungen

B7a.6 Feldmessungen - Geohydraulik

Die Auswertung hydraulischer Packertests ergab eine deutliche Beeinflussung von Packertests durch Wechselwirkung mit dem Nebengestein. Als potenzielle Wechselwirkungen wurden in der Bohrung Benken untersucht:

- freies Quellen von Tonmineralien im Gestein an der Bohrlochwand bzw. im Bohrklein, das ausbricht und sich im Tiefsten des Testintervalls ansammelt
- mechanische Bohrlochkonvergenz infolge der komplexen rheologischen Eigenschaften des Opalinustons (visko-elasto-plastisches Verhalten).

Eine Re-Analyse der Packertests u.a. auf Basis der in den Laboruntersuchungen bestimmten Kriechparameter, führte zu einer Neubewertung der Ergebnisse der Kurzzeitpackertests, wobei gezeigt werden konnte, dass mit den limitierten Testzeiten zwar die Durchlässigkeit parallel bestimmt werden konnte, diese aber nicht die großräumige Speicherkapazität des Wirtsgesteins repräsentiert, sondern vielmehr die elasto-plastischen Eigenschaften der unmittelbaren Bohrlochumgebung.

NAGRA (2002)

Qualität: 2 Quantität: 1

B7a.7 Feldmessungen - Geochemie

B7a.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7a.9 Labor

Für die Interpretation von geophysikalischen Bohrlochmessungen sind Laboruntersuchungen unter definierten Bedingungen (Druck, Temperatur etc.) unerlässlich. Allerdings wurden die Proben z.T. durch irreversible Deformation bei der Kernentnahme stark geschädigt. Insbesondere bei Tonproben ist dieser Aspekt für die Bestimmung mechanischer Kenngrößen z. Zt. Gegenstand der Forschung.

Zur Bestimmung einer Vorschädigung wurden an ca. 70 Proben aus der Bohrung Benken Ultraschallgeschwindigkeiten von P- und S-Wellen sowie daraus abgeleitet die dynamischen Kenngrößen E-Modul und Poisson-Zahl für drei Richtungen (senkrecht, parallel bzw. 45° quer zur Foliation) bestimmt (NAGRA, 2002). Über den Vergleich von Geschwindigkeiten aus Labor- oder geophysikalischen Bohrlochmessungen ergaben sich keine signifikanten Hinweise auf Auflockerungen, wobei aber auch die Messungen im Bohrloch durch eine lokale Auflockerungszone um das Bohrloch herum beeinflusst sein können.

Für die Beschreibung der mechanischen Eigenschaften liegen geomechanische Parametersätze von Experimenten sowohl von Probenmaterial der Bohrung Benken als auch von Mont Terri vor. Im Vergleich zeigt sich, dass Mont-Terri-Proben eine etwas höhere Porosität bzw. Wassergehalt aufweisen und somit nicht direkt vergleichbar sind. Die Labormessungen umfassten folgende Arbeiten, wobei ca. 30 Proben untersucht wurden (NAGRA, 2002):

- petrographisch-mineralogische Beschreibung des felsmechanisch untersuchten Probenmaterials
- Dichtemessungen, Wassergehaltsbestimmungen, Messung der Ultraschallgeschwindigkeit und daraus Ableitung der dynamischen Elastizitätsparameter sowie Porositätsbestimmungen
- Messung der einaxialen Druckfestigkeit und Berechnung der statischen Elastizitätsparameter
- Triaxiale Druckversuche bei Manteldrücken bis 40 MPa
- Kriechversuche bei Manteldrücken von 0,6 bzw. 10 MPa

- Versuche zur Bestimmung der Zugfestigkeit
- Quellversuche

Als Ergebnis liegen zwar mechanische Kennwerte (z.B. E_{stat} , Bruchfestigkeit) vor, aufgrund der noch bestehenden Unsicherheiten zur Bewertung potenzieller Einflussfaktoren (z.B. Sättigung, Porendruck, Auflockerung) sind die vorliegenden Untersuchungen im Sinne des mechanistischen Modells u.a. zur Beschreibung von THMC-Effekten nicht ausreichend. Unter der Annahme, dass die Proben aufgrund der Randeinflüsse, z.B. Vorschädigung, eher zu niedrige Kennwerte liefern, lassen sich für bautechnische Fragestellungen sehr wohl Materialgesetze zur Beschreibung des Deformationsverhaltens ableiten.

Qualität: 2 Quantität: 1 - 2

B7a.10 Untertage Geophysik

B7a.11 Untertage geol. Kartierung

B7a.12 Untertage Bohrungen

B7a.13 Untertage In-situ-Messungen

B7a.14 Untertage Labor

B7b Hydraulisch (z. B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)

B7b.1 Fernerkundung

B7b.2 Geophysik (übertägig)

B7b.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Bohrloch-Logs wurden verwandt, um die Matrixporositäten des Nebengesteins zu ermitteln. Diese Aussagen werden als für Porenaquifere zutreffend beschrieben, nicht jedoch hinsichtlich der Bedeutung von sandigen und kalkigen Schichten als Kluftaquifere. In Kombination mit hydraulischen Tests und Tracertests erfolgte ein Fluid-Logging im Bohrloch, um die Durchlässigkeitseigenschaften des Opalinustons zu ermitteln. Die Ergebnisse standen bis dato (1994) noch aus.

NAGRA (1994)

Umfang siehe B1.3

Gamma-Gamma zur Bestimmung der Formationsdichte. Neutronmessung (CNT) zur Bestimmung des Wasserstoffgehalts des Gesteins und nach Tongehaltskorrektur Ermittlung der Formationsporosität. Z.T. Verwendung einer neu entwickelten IPL-Sonde (siehe B1.3) u. a. für Porositätsmessungen. Nuclear-Magnetic-Resonance (CMR) zur Bestimmung des freien und gebundenen Wassers und somit Aussagen zur Porosität. LDT zur Messung der Dichte und des photoelektrischen Faktors. In ausgekesselten Bereichen des Bohrlochs wurden die Dichtekurven nacheditiert und mit Laborwerten ergänzt.

NAGRA (2001)

Qualität: 3 Quantität: 1 - 2

B7b.4 Geol. Kartierung

B7b.5 Bohrungen

B7b.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7b.7 Feldmessungen - Geochemie

B7b.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7b.9 Labor

Bei tonigen Gesteinen ist die ermittelte Porosität im Gegensatz zu den kristallinen Gesteinen stark von der angewandten Methodik abhängig, was aus der komplexen Porenraumstruktur und den physikochemischen Eigenschaften mit Poren- bzw. adsorptiv oder chemisch gebundenem Wasser der Tonminerale resultiert. Angesichts der Probleme, welche die Porositätsmessung toniger Gesteine mit sich bringt und aufgrund der unterschiedlichen Methoden, die z.T. noch unterschiedlich von verschiedenen

Labors eingesetzt werden, muss eine kritische Auswahl der Methoden und Bewertung der erzielten Ergebnisse erfolgen. Auf die verschiedenen Methoden zur Porositätsbestimmungen sowie den daraus resultierenden Konsequenzen der Aussagefähigkeit des Porositätswertes wird in NAGRA (2002) explizit eingegangen. Ein Überblick zur vorliegenden Datenbasis wird in nachstehender Tabelle 1 gegeben.

Qualität: 3 Quantität: 2

Gaspermeabilitätstests wurden an zwei Kernproben aus der Bohrung Benken durchgeführt. Mittels schrittweiser Erhöhung der radialen Einspannung sowie des Gasinjektionsdrucks konnten in hydraulischen Langzeittests zwischen 0,2 und 10 MPa Seitendruck realistische Gaseintrittsdrücke und Permeabilitätswerte bestimmt werden.

Qualität: 3 Quantität: 1

Tabelle 1: Überblick über gemessene Porositäts- und Dichtewerte des Wirtgesteins der Bohrung Benken (aus NAGRA, 2002)

Parameter	Mittelwert $\pm 1\sigma$	Bereich	Anzahl Analysen
Gesteinsdichte des getrockneten Gesteins [g/cm ³]	2.43 ± 0.06	2.37–2.53	8
Gesteinsdichte des bergfeuchten Gesteins [g/cm ³]	2.52 ± 0.03	2.43–2.65	281
Korndichte [g/cm ³]	2.72 ± 0.01	2.69–2.74	8
Pyknometerporosität (berechnet mit Gesteinsdichte des getrockneten Gesteins) [–]	0.108 ± 0.020	0.074–0.131	8
Pyknometerporosität (berechnet mit Gesteinsdichte des bergfeuchten Gesteins) [–]	0.114 ± 0.020	0.041–0.169	281 (Gesteinsdichte, bergfeucht) / 8 (Korndichte)
Wasserverlustporosität [–]	0.108 ± 0.019	0.053–0.137	32
Diffusionsporosität Wasserisotope aus Massenbilanz ¹ [–]	0.130 ± 0.015^1 0.124^2	0.108–0.141 ¹	4 ¹ 9 ²
Diffusionsporosität ³ HHO aus transientem Diffusionsexperiment ³ [–]	0.14 ± 0.02^3		3 (aus gleicher Tiefe) ³
Diffusionsporosität Cl aus transientem Diffusionsexperiment ³ [–]	0.04 ± 0.003^3		3 (aus gleicher Tiefe) ³

¹ Drei der vier Analysen stammen aus den Murchisonae-Schichten, der Wert ist deshalb nicht repräsentativ für das gesamte Wirtgestein

² Repräsentativer Wert für das Wirtgestein, hochgerechnet aus Wasserverlustporosität und typischer Korrelation zu Diffusionsporosität aus Massenbilanz (s. Text).

³ Werte sind nicht repräsentativ für das gesamte Wirtgestein, da das Probenmaterial aus einem Bereich mit sehr hohem Tongehalt stammt. Unsicherheiten sind aus der Auswertung eines einzelnen Experiments abgeleitet. Sie repräsentieren somit weder die (eher geringe) Streubreite der Bestwerte noch die räumliche Variabilität.

B7b.10 Untertage Geophysik

B7b.11 Untertage geol. Kartierung

B7b.12 Untertage Bohrungen

B7b.13 Untertage In-situ Messungen

B7b.14 Untertage Labor

B7c Diffusion**B7c.1 Fernerkundung****B7c.2 Geophysik (übertägig)****B7c.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7c.4 Geol. Kartierung****B7c.5 Bohrungen****B7c.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7c.7 Feldmessungen - Geochemie****B7c.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7c.9 Labor**

Diffusionsexperimente an Gesteinsproben aus der Bohrung Benken wurden von verschiedenen Forschungsgruppen durchgeführt. Generell unterscheiden sich die Versuchsanordnungen aus den verschiedenen Labors. In den meisten Fällen wurde jedoch das through diffusion-Konzept angewandt. Dabei wird eine Probe von 1 bis 2 cm Dicke in Kontakt mit zwei wässrigen Lösungen gebracht, die derjenigen des Porenwassers möglichst ähnlich sind. In einer der Lösungen befinden sich ein oder mehrere Tracer, die durch die Probe diffundieren. Aus dem Durchbruchverhalten sowie den Ergebnissen der nachfolgenden stationären Phase lassen sich die Diffusionskonstante sowie die Diffusionsporosität bestimmen.

Die bisherigen Ergebnisse der PSI-Untersuchungen (Paul Scherrer Institut, Schweiz) an Benken-Proben sind in nachstehender Tabelle 2 dargestellt.

Qualität: 3 Quantität: 2

Tabelle 2: Diffusionsdaten für den Opalinuston aus der Bohrung Benken (aus NAGRA, 2002)

Tracer	⊥ oder	Anzahl Versuche	De [$\times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$]	n [-]	Kommentar
^3H	⊥	8	0.61 ± 0.1	0.13 – 0.15	4, 8, 14, 15 MPa Umgebungsdruck
		2	3.15 ± 0.05	0.13 – 0.15	14 MPa Umgebungsdruck
$^{36}\text{Cl}^-$	⊥	3	0.08 ± 0.01	0.03 – 0.04	4, 8, 15 MPa Umgebungsdruck
$^{125}\text{I}^-$	⊥	3	0.05 ± 0.02	0.06 – 0.08	4, 8, 15 MPa Umgebungsdruck; höhere Porosität gegenüber ^{36}Cl erklärt durch schwache Sorption

B7c.10 Untertage Geophysik**B7c.11 Untertage geol. Kartierung****B7c.12 Untertage Bohrungen****B7c.13 Untertage In-situ Messungen****B7c.14 Untertage Labor****B7d Thermisch****B7d.1 Fernerkundung****B7d.2 Geophysik (übertägig)**

B7d.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**B7d.4 Geol. Kartierung****B7d.5 Bohrungen****B7d.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7d.7 Feldmessungen - Geochemie****B7d.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7d.9 Labor**

Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit wurden anhand weniger Kernproben im Labor ermittelt (NAGRA, 2001). Dabei zeigte sich, dass die Wärmeleitfähigkeit entlang der Schichtung nahezu doppelt so hoch, wie senkrecht dazu ist, wobei die Wärmeleitfähigkeit mit dem Quarzgehalt zu korrelieren scheint.

Qualität: 2 Quantität: 1

B7d.10 Untertage Geophysik**B7d.11 Untertage geol. Kartierung****B7d.12 Untertage Bohrungen****B7d.13 Untertage In-situ Messungen****B7d.14 Untertage Labor****B7e THMC-Kopplung****B7e.1 Fernerkundung****B7e.2 Geophysik (übertägig)****B7e.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7e.4 Geol. Kartierung****B7e.5 Bohrungen****B7e.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7e.7 Feldmessungen - Geochemie****B7e.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7e.9 Labor****B7e.10 Untertage Geophysik****B7e.11 Untertage geol. Kartierung****B7e.12 Untertage Bohrungen****B7e.13 Untertage In-situ Messungen****B7e.14 Untertage Labor****B7f Chemische Eigenschaften (z. B. Oxidation, Adsorption)****B7f.1 Fernerkundung****B7f.2 Geophysik (übertägig)****B7f.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7f.4 Geol. Kartierung****B7f.5 Bohrungen****B7f.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

B7f.7 Feldmessungen - Geochemie**B7f.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7f.9 Labor****B7f.10 Untertage Geophysik****B7f.11 Untertage geol. Kartierung****B7f.12 Untertage Bohrungen****B7f.13 Untertage In-situ Messungen****B7f.14 Untertage Labor*****C Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)*****C1 Hydraulisch wirksame Einheiten****C1.1 Fernerkundung****C1.2 Geophysik (übertägig)****C1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

Entlang einer ca. 60 km langen Linie wurden 7 Bohrloch-Logs aufgenommen (Gamma-Ray Log, Sonic Log). Diese Logwerte wurden mit Kerndaten geeicht und zu einer detaillierten Log-Korrelation zusammengefügt. Ziel war die Eruierung potenzieller Grundwasserleiter über und unter dem Wirtsgestein. Basierend auf Faziesanalyse und Log-Korrelation wurde deren Verbreitung anhand paläogeographischer Karten abgeleitet.

NAGRA (1994)

Qualität: 2 Quantität: 2

C1.4 Geol. Kartierung**C1.5 Bohrungen**

Seit Juli 1999 ist das hydrogeologische Langzeitbeobachtungssystem im Bohrloch installiert.

NAGRA (2002)

(Die Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen sind in NAGRA (2001) veröffentlicht.)

Die Gliederung der Schichtreihe in hydrogeologische Einheiten basiert im Wesentlichen auf den Befunden der Bohrung Benken und der Berücksichtigung der regionalen hydrogeologischen Aspekte (Kontinuität/Heterogenität der Formationen) sowie den hydrochemischen Gegebenheiten. Die Mächtigkeiten der hydrogeologischen Einheiten wurden aus den Schichtmächtigkeiten der Bohrung Benken abgeleitet.

NAGRA (2002)

Qualität: 3 Quantität: 1

C1.6 Feldmessungen - Geohydraulik**C1.7 Feldmessungen - Geochemie****C1.8 Feldmessungen - Geomechanik****C1.9 Labor**

Innerhalb des Untersuchungsprogramms Benken wurden oberflächennahe Grundwässer aus den quartären Lockergesteinen in zwei Piezometerbohrungen beprobt.

NAGRA (2002)

C1.10 Untertage Geophysik**C1.11 Untertage geol. Kartierung****C1.12 Untertage Bohrungen****C1.13 Untertage In-situ Messungen****C1.14 Untertage Labor****C2 Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein****C2.1 Fernerkundung****C2.2 Geophysik (übertägig)****C2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C2.4 Geol. Kartierung****C2.5 Bohrungen****C2.6 Feldmessungen - Geohydraulik***Packertests:*

Die hydraulischen Süßwasser-Druckhöhen wurden neben den Durchlässigkeiten bei 20 Packertests in der Bohrung Benken ermittelt. Die Auswertung erfolgte in zwei Phasen:

Phase 1 - Auswertung der Messdaten aus dem Test

Phase 2 - Abgleich und evtl. Korrektur der Messdaten mit Laboranalysedaten und Loginterpretationen

NAGRA (2002)

Von den 20 Tests waren 12 Einfachpacker-Tests (4 während Bohrpausen, 8 nach Bohrungsabschluss), 8 Doppelpacker-Tests (alle nach Bohrungsabschluss).

NAGRA (2001)

Qualität: 1 Quantität: 1

Langzeitbeobachtung:

Die Langzeitbeobachtung der Druckhöhen der Tiefengrundwässer begann in der Bohrung Benken mit dem eingebauten Westbay-Multipackersystem im Sommer 1999 und wird noch weiter geführt. Es wurden insgesamt neun verschiedene Bohrlochabschnitte, in denen die Druckhöhen kontinuierlich registriert werden, hydraulisch isoliert.

NAGRA (2002)

Ziel: Ermittlung der ungestörten hydraulischen Druckhöhen in ausgewählten Abschnitten, GW-Probenahme, Ermittlung von repräsentativen hydraulischen Parametern (Transmissivität und ggf. Speicherkoeffizient) im regionalen Maßstab.

NAGRA (2001)

Qualität: 3 Quantität: 1

C2.7 Feldmessungen - Geochemie**C2.8 Feldmessungen - Geomechanik****C2.9 Labor****C2.10 Untertage Geophysik****C2.11 Untertage geol. Kartierung****C2.12 Untertage Bohrungen****C2.13 Untertage In-situ Messungen****C2.14 Untertage Labor**

C3 Fließ- und Speicherparameter**C3.1 Fernerkundung****C3.2 Geophysik (übertägig)****C3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

Umfang siehe B1.3

Fokussierte Widerstandsmessungen (DLL, MSFL, HRLA) zur Messung des elektrischen Widerstandes bei unterschiedlichen Eindringtiefen, wobei DLL für mittlere und große und MSFL für geringe Eindringtiefen verwendet wird. HRLA (Neuentwicklung) ermittelt Widerstandswerte gleichzeitig für 6 unterschiedliche Eindringtiefen, wodurch Aussagen z.B. zum Eindringen der Spüllösung in die Formation gewonnen werden.

Fluid-Logging dient zur Lokalisierung von Wasserzuflüssen im Bohrloch. Da die hier vorliegende Transmissivität jedoch unterhalb der Detektionsgrenze des Fluid-Loggings ($> 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$) lag und im Tongestein potenzielle Instabilitäten der Bohrlochwand bestanden, wurde auf diese Methode verzichtet (S. 172). Während hydraulischer Packertests erfolgten Druck- und Temperaturmessungen im Bohrloch separat und über ein Quad Conductive Wireline-Gerät.

NAGRA (2001)

Qualität: 2 Quantität: 1 - 2

Qualität 2 wegen Einschränkung in der Anwendungsmöglichkeit des Fluid-Loggings.

C3.4 Geol. Kartierung**C3.5 Bohrungen****C3.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

Packertests:

Ziel in Benken: hydraulische Charakterisierung ausgewählter Bohrungsabschnitte, bestimmte Parameter (Anzahl der Tests): Transmissivität (20), hydraulische Durchlässigkeit (Fließmodell 18), äquivalente Süßwasserdruckhöhe (20), Gaseintritts-Schwellendruck in einem Opalinuston-Testintervall in Abhängigkeit von der hydraulischen Durchlässigkeit (1), Grundwasserprobenahmen (6)

Testarten/-zeitpunkt: 12 Einfachpacker-Tests mit Intervallisierung vom Packer bis zur jeweiligen Endteufe (4 während Bohrpausen, 8 nach Bohrungsabschluss), 8 Doppelpacker-Tests mit Intervallisierung zwischen den Packern (alle nach Bohrungsabschluss).

NAGRA (2001)

Testablauf:

1. hohe Transmissivitäten

Übersichtstest: Slug Withdrawal-Test mit nachfolgender Druckerholungsphase

Haupttest: Pumptestes mit konstanter Förderrate und nachfolgender Druckerholungsphase (dabei können GW-Proben entnommen werden)

Optionale Tests: Puls-Test zur Ermittlung der Kompressibilität zur Verifizierung von vorherigen Testergebnissen

2. geringe Transmissivitäten (generell längere Testdauer)

Übersichtstest: Puls-Test zur ersten Abschätzung der Transmissivität

Haupttest: Slug Withdrawal-Test mit nachfolgender Druckerholungsphase

Optionale Tests: Puls-Test zur zusätzlichen Ermittlung der Kompressibilität

NAGRA (2001)

Die Durchlässigkeiten wurden neben den hydraulischen Süßwasser-Druckhöhen bei 20 Packertests in der Bohrung Benken ermittelt. Die Auswertung erfolgte in zwei Phasen:

Phase 1 - Auswertung der Messdaten aus dem Test

Phase 2 - Abgleich und evtl. Korrektur der Messdaten mit Labordaten und Log-Interpretationen.

Bei diesen Daten handelt es sich um komplementäre Daten zur räumlichen Variabilität der K-Werte, Beiträge zur Analyse von Testartefakten (*im Bericht genannte Referenz: MAZUREK (2001 & b), ALBERT & BLÄSI (2001), STEFFEN & JÄGGI (2002)*). Ermittelt wurden bei den Packertests standortbezogene K-Werte und hydraulische Druckhöhen (*im Bericht genannte Referenz: NAGRA (2001), MARSCHALL et al. (2002)*).

NAGRA (2002)

In der Bohrung Benken wurden im Verlauf des Packertests O7 sequenziell zwei verschiedene Testfluids verwandt (Silikatspülung zu Beginn, Austausch durch synthetisches Porenwasser), um eine eventuelle Fluidabhängigkeit der Testergebnisse zu ermitteln. Die einzelnen Testsequenzen wurden unabhängig voneinander ausgewertet.

NAGRA (2002)

Im Opalinuston in Benken wurde die Durchlässigkeit neben Labormethoden auch mit In-situ-Versuchen (Packertests) in Bohrlochabschnitten von 3 bis 32 m Länge getestet; die Reichweite der hydraulischen Tests lag im cm- bis dm-Bereich. Die für die Langzeitsicherheit relevanten Betrachtungsmaßstäbe erstrecken sich hingegen auf den Dekameter- bis Hektometerbereich.

NAGRA (2002)

Qualität: 3 Quantität: 1

Piezometerbohrungen:

Zur Überwachung des oberflächennahen GW-Leiters wurden zusätzlich zwei Piezometerbohrungen abgeteuft, in denen Pumpversuche und Flowmeter-Messungen durchgeführt wurden.

NAGRA (2001)

Qualität: 2 Quantität: 1

Quantität: Abschätzung der Stufe 1, da die Versuche nur in zwei Bohrungen durchgeführt wurden und davon ausgegangen wird, dass die Anzahl der Versuche entsprechend gering ist.

C3.7 Feldmessungen - Geochemie

C3.8 Feldmessungen - Geomechanik

C3.9 Labor

Permeameter-Tests wurden im Opalinuston an Kernproben durchgeführt. Ermittelt wurden K-Werte, Anisotropiefaktor, hydromechanische Parameter (*im Bericht genannte Referenz: HORSEMAN & HARRINGTON (2002), SENGER (2002)*)

NAGRA (2002)

Qualität: ? Quantität: ?

C3.10 Untertage Geophysik

C3.11 Untertage geol. Kartierung

C3.12 Untertage Bohrungen

C3.13 Untertage In-situ Messungen

C3.14 Untertage Labor

C4 Zwei-Phasenflussparameter

C4.1 Fernerkundung

C4.2 Geophysik (übertägig)

C4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

C4.4 Geol. Kartierung**C4.5 Bohrungen****C4.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

Unmittelbar nach Abschluss des hydraulischen Tests O5 in der Bohrung Benken wurde im Testintervall zwischen 600,1 und 603,5 m ein Langzeit-Gastest (*Gas-Threshold-Pressure-Test*) über 38 h durchgeführt. Der experimentelle Aufbau bestand aus einem Multipacker-System (*Anm.: In der detaillierten Beschreibung in NAGRA (2001) werden nur Doppelpacker genannt, so dass hier vermutlich auch Doppelpacker gemeint sind*) in der Injektionsbohrung. Mit dem Test sollte überprüft werden, ob die Diskontinuität bei ca. 602 m eine messbare Gasdurchlässigkeit besitzt.

Während der gesamten Gasinjektionsphase wurde bis zu einem Intervalldruck von 11 MPa kein messbarer Gasfluss ins Gebirge festgestellt. Bei einem Formations-Porenwasserdruck von ca. 6 MPa lässt dies auf einen Gaseintrittsdruck > 5 MPa schließen. Während der abschließenden Druckausgleichsphase blieb der Druck im Testintervall über einen Zeitraum von mehreren Stunden praktisch konstant und fiel dann während der nächsten 24 h um ca. 0,7 MPa ab. Im Rahmen von weiterführenden Zwei-Phasenfluss-Modellierungen wurde der Druckabfall während der abschließenden Druckausgleichsphase separat modelliert.

Nach Abschluss der Gasinjektionsphase wurde an beiden Teststandorten im Injektionsbohrloch ein Hydrottest durchgeführt, um mögliche Änderungen der hydraulischen Durchlässigkeit infolge der Gasinjektion festzustellen.

NAGRA (2002)

Der Langzeit-Gastest wurde mit einem Doppelpacker in einem ca. 3 m langen Intervall durchgeführt.

NAGRA (2001)

Qualität: 2 Quantität: 1

C4.7 Feldmessungen - Geochemie**C4.8 Feldmessungen - Geomechanik****C4.9 Labor****C4.10 Untertage Geophysik****C4.11 Untertage geol. Kartierung****C4.12 Untertage Bohrungen****C4.13 Untertage In-situ Messungen****C4.14 Untertage Labor****D Hydrochemie****D1 Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)****D1.1 Fernerkundung****D1.2 Geophysik (übertägig)****D1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D1.4 Geol. Kartierung****D1.5 Bohrungen****D1.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D1.7 Feldmessungen - Geochemie****D1.8 Feldmessungen - Geomechanik**

D1.9 Labor

Isotopenanalysen ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^2\text{H}/^1\text{H}$) wurden für 26 Kernproben durchgeführt.

Qualität: 3 Quantität: 1

6 Wasserproben von den Grundwasserleitern wurden auf Isotopen analysiert; ^4He , $^3\text{He}/^4\text{He}$ sowie $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$. Gasproben von Kernen wurden ebenfalls analysiert - ^4He (8 Proben), $^3\text{He}/^4\text{He}$ (1 Probe) sowie $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ (7 Proben).

NAGRA (2002), GIMMI & WABER (2004), GIMMI et al. (2007)

Qualität: 3 Quantität: 1 (Isotopenverhältnisse)

Qualität: 3 Quantität: 1 (^4He)

D1.10 Untertage Geophysik**D1.11 Untertage geol. Kartierung****D1.12 Untertage Bohrungen****D1.13 Untertage In-situ Messungen****D1.14 Untertage Labor****D2 Porenwasserchemismus****D2.1 Fernerkundung****D2.2 Geophysik (übertägig)****D2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D2.4 Geol. Kartierung****D2.5 Bohrungen****D2.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D2.7 Feldmessungen - Geochemie**

In der Bohrung Benken wurden während des Bohrbetriebs und der Probenahme mit einer Durchflusszelle in situ der pH-Wert, die Alkalinität, der Redoxwert sowie die spezifische elektr. Leitfähigkeit sowie die Temperatur gemessen. NAGRA (2001)

Qualität: 3 Quantität: 1

D2.8 Feldmessungen - Geomechanik**D2.9 Labor**

6 Grundwasserproben von Grundwasserleitern in der Bohrung wurden auf gelöste Hauptschubstanzen, Spurenelemente, pH, Eh, gesamte gelöste Stoffe sowie Brom analysiert.

NAGRA (2002), GIMMI & WABER (2004).

Qualität: 3 Quantität: 1 (Hauptschubstanzen sowie gelöste Stoffe)

Qualität: 3 Quantität: 1 (Spurenelemente)

16 Kernproben wurden gelaugt und die Flüssigkeit auf Cl^- sowie $^{37}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$ analysiert. Porenwasserproben von 2 Kernen wurden auf gelöste Stoffe analysiert.

Qualität: 3 Quantität: 1 (Chlor)

Qualität: 3 Quantität: 1 (gelöste Stoffe)

D2.10 Untertage Geophysik

D2.11 Untertage geol. Kartierung

D2.12 Untertage Bohrungen

D2.13 Untertage In-situ Messungen

D2.14 Untertage Labor

D3 Transporteigenschaften

D3.1 Fernerkundung

D3.2 Geophysik (übertägig)

D3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

D3.4 Geol. Kartierung

D3.5 Bohrungen

D3.6 Feldmessungen - Geohydraulik

D3.7 Feldmessungen - Geochemie

D3.8 Feldmessungen - Geomechanik

D3.9 Labor

D3.10 Untertage Geophysik

D3.11 Untertage geol. Kartierung

D3.12 Untertage Bohrungen

D3.13 Untertage In-situ Messungen

D3.14 Untertage Labor

D4 Kolloide usw.

D4.1 Fernerkundung

D4.2 Geophysik (übertägig)

D4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

D4.4 Geol. Kartierung

D4.5 Bohrungen

D4.6 Feldmessungen - Geohydraulik

D4.7 Feldmessungen - Geochemie

D4.8 Feldmessungen - Geomechanik

D4.9 Labor

D4.10 Untertage Geophysik

D4.11 Untertage geol. Kartierung

D4.12 Untertage Bohrungen

D4.13 Untertage In-situ Messungen

D4.14 Untertage Labor

ZITATE

(Die mit * gekennzeichneten Zitate befinden sich auf dem beiliegenden Datenträger.)

- BIRKHÄUSER, ROTH, MEIER & NAEF (2001): 3D-Seismik: Räumliche Erkundung der mesozoischen Sedimentschichten im Zürcher Weinland: NAGRA Technischer Bericht 00-03, 158 S.
- GIMMI, T. & WABER, H. N. (2004): Modelling of tracer profiles in pore water of argillaceous rocks in the Benken borehole: stable water isotopes, chloride, and chlorine isotopes. Technical Report 04-05, NAGRA, Wettingen.
- *GIMMI, T., WABER, H. N., GAUTSCHI, A. & RÜBEL, A. (2007): Stable water isotopes in pore water of Jurassic argillaceous rocks as tracers for solute transport over large spatial and temporal scales. Water resources Research, 43, W04410, doi: 10.1029/2005WR004774.
- KLEE, G. & RUMMEL, F. (2000): Sondierbohrung Benken: Hydrofrac Spannungsmessungen – Teil I: Auswertung der Feldmessungen; Teil II: Ergebnisse der Laboruntersuchungen und Abschlussbewertung. Unpubl. Nagra Int. Ber. (Zitat aus NAGRA, 2001).
- NAGRA (1994): Sedimentstudie Zwischenbericht 1993 - Zusammenfassende Übersicht der Arbeiten von 1990 bis 1994 und Konzept für weitere Untersuchungen: Technischer Bericht 94-10, 68 S.
- NAGRA (1996): Sondierbohrung Benken - Arbeitsprogramm: Technischer Bericht 96-07, 77 S.
- NAGRA (2001): Sondierbohrung Benken - Untersuchungsbericht, Text- und Beilagenband, August 2001, Nagra Technischer Bericht 00-01, 288 S., Wettingen (CH).
- NAGRA (2002): Projekt Opalinuston: Synthese der geowissenschaftlichen Untersuchungsergebnisse - Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle, Dezember 2002, Nagra Technischer Bericht 02-03, Wettingen (CH).

BENKEN		Erkundungs- methoden: 1-9 übertägig 10-14 untertägig	Fernerkundung	Geophysik (übertägig)	Geophysik (im Bohrloch)	Geol. Kartierung	Bohrungen	Feldmessungen - Geohydraulik	Feldmessungen - Geochemie	Feldmessungen - Geomechanik	Labor	Geophysik	geologische Kartierung	Bohrungen	In situ- Messungen	Labor
Inhalte der Themenkomplexe		Bezeichnungen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Regionale Geologie (20 km*20 km)																
Wirtsgestein / Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)	A1															
Stratigraphie	A2															
Strukturgeologie und Tektonik (Störungsmuster, Faltung)	A3															
Regionales Spannungsfeld	A4															
Temperatur und Wärmeleitfähigkeit	A5															
Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z.B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)	A6															
Rohstoffvorkommen	A7															
Eigenschaften des Wirtsgesteins und des Deckgebirges am Standort																
Lithologie	B1															
Geometrie (Tiefenlage, Ausdehnung)	B2															
Makro-Struktur (Großgefüge: Störungen / Faltungen / Deformationen / Klüfte)	B3															
Mikro-Struktur (Korngefüge / Porenstruktur)	B4															
In-situ-Spannungsverhältnisse	B5															
Mineralogie	B6															
Petrophysikalische Eigenschaften (Probenmaßstab):																
Gesteinsmechanik (z.B. Festigkeit, Kriechen)	B7a															
Hydraulik (z.B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)	B7b															
Diffusion	B7c															
Thermik	B7d															
THMC-Kopplung	B7e															
Chemismus (z.B. Oxidation, Adsorption)	B7f															
Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)																
Hydraulisch wirksame Einheiten	C1															
Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein	C2															
Fließ- und Speicherparameter	C3															
Zwei-Phasenfluss-Parameter	C4															
Hydrochemie																
Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)	D1															
Porenwasserchemismus	D2															
Transporteigenschaften	D3															
Kolloide usw.	D4															

Erkundungsaktivität

Erkundungsaktivität ohne eine Bewertung bzgl. der Qualitäts- bzw. Quantitätskategorien

Standort:	Bure (Frankreich)
Name - Typ:	Meuse/Haute Marne-Felslabor
Lage:	in der Nähe des französischen Ortes Bure, im Département Meuse bzw. an der Grenze zum Département Haute-Marne gelegen
Betreiber:	ANDRA (Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs)
Fläche:	Untertagelabor auf einer Fläche von 100 x 200 m ² (mit der Option der Erweiterung als Endlager)
Erschließung/ Teufenlage:	<p>flach lagernde Tonsteinformation, zwei Schächte mit zwei Verbindungsstrecken in ca. 450 m Teufe (ca. 400 m Streckenauffahrung von denen mehr als 120 m für wissenschaftliche Arbeiten genutzt werden sollen)</p> <p>Dieses Labor soll eingehende wissenschaftliche Forschungen bezüglich Permeabilität, Stabilität und generelle Eigenschaften (mechanisch, hydraulisch, chemisch usw.) der Tonschicht ermöglichen, um aufzuzeigen, ob diese Schicht für die Einlagerung hochradioaktiver Abfälle geeignet ist.</p>
Geologie:	<p>Das URL Bure liegt an der östlichen Ecke des Pariser Beckens in Tonsteinen des Jura (Callovium und Oxfordium). Die Meuse/Haute Marne-Region hat eine Ausdehnung von ca. 40 km in Ost-West- bzw. 60 km in Nord-Süd-Richtung. Die Schichten fallen mit rund 10° nach Nordwesten ein. Die als Endlagerformation ausgewählte ca. 130 m mächtige und sehr homogene Tonformation (Alter 155 Mio. Jahre) wird durch das URL in einer Teufe zwischen 420 m und 550 m aufgeschlossen.</p> <p>Der kompakte Tonstein zeichnet sich durch eine geringe Permeabilität, günstige Diffusions- und Sorptionseigenschaften sowie eine gute mechanische Festigkeit aus.</p> <p>Unter den Tonsteinen des Callovo-Oxfordium folgen doggerzeitliche Kalksteine. In der Doggerformation wurden einige vertikale Störungen beobachtet, an denen die Schichten bis ca. 3 m versetzt sind. Die Callovo-Oxfordium-Formation wird von oxfordzeitlichem Kalkstein überlagert, in dem keine vertikalen Störungen identifiziert wurden. Über dem Oxfordium folgen Mergelsteine des Kimmeridgium und schließlich die Barrois-Kalksteine. Die Kimmeridge-Formation ist tonig-mergelig ausgebildet und wenig permeabel. Dadurch isoliert sie die Barrois-Kalksteine von den darunter liegenden Gesteinseinheiten. Die Dogger-, Oxford- und Barrois-Kalksteine sind Kalkstein-Grundwasserleiter.</p>
Historie:	<p>1991: Beginn eines umfangreichen Untersuchungsprogrammes zur Untersuchung von Tonformationen zwecks Eignung als Endlagerformation, hier insbesondere in der Meuse/Haute Marne-Region</p> <p>1994 - 1996: übertägige Erkundungsphase</p> <p>1999 - 2000: seismische 3D-Messkampagne mit den Schachtvorbohrungen und einem begleitendem Untersuchungsprogramm</p> <p>1996 - 2004: Beteiligung am Mont Terri-Labor zur generellen Charakterisierung verfestigter Tongesteine und Durchführung von In-Situ-Tests</p> <p>03/2004: Beginn der Untertageerkundung mit der Schachtauffahrung und begleitenden Messprogrammen</p>
Literatur	ANDRA (2005): Dossier 2005. Argile sur l'avancement des études & recherches relatives à la faisabilité d'un stockage de déchets à haute activité et à vie longue en formation géologique profonde - Rapport de synthèse.

Bure, FrankreichInfo:

Die mögliche Endlagerstätte liegt im Osten Frankreichs - Meuse/Haute-Marne-Site. Sie ist eingebettet in Tongestein (Argillite) und befindet sich in ca. 400 bis 600 m Tiefe.

Erweiterung / Verallgemeinerung der Ergebnisse:

Die geophysikalischen und geologischen Erkundungen (von 1994 bis 2003) haben detaillierte Ergebnisse für ein Gebiet von ca. 700 km² geliefert. Die ausführlichen Studien erlauben somit Zonen zu bestimmen, in welchen diese Bedingungen zu Situationen führen, die sich merkbar von denen im Meuse/Haute-Marne-Untergrund-Laboratorium unterscheiden.

Machbarkeitsstudie für Endlagerstätten im Tongestein:

Die geologischen Bedingungen der Meuse/Haute-Marne-Site (Callovo-Oxfordian-Schicht) sind hervorragend und bieten günstige Bedingungen für eine Endlagerstätte:

- *beträchtliche Schichtmächtigkeit (130 m)*
- *weitestgehend ohne Verwerfungen, sehr homogener Aufbau mit hoher Stabilität*
- *geologische Geschichte sehr gut bekannt*
- *keine seismisch aktive Region*

A Regionale Geologie (20 km x 20 km)**A1 Wirtsgestein/Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)**

Die erste Erkundungsetappe wurde im Zeitraum zwischen 1994 und 1996 durchgeführt und diente dem grundlegenden Verständnis für die Bedingungen der Meuse/Haute-Marne-Site.

- geologische Kartierung
- oberflächengeophysikalische Erkundung (2D-Seismik)
- 3 Bohrungen
- Probennahme

ANDRA (2005)

A1.1 Fernerkundung**A1.2 Geophysik (übertägig)**Seismik:

1.300 km Profile wurden im Rahmen der Ölexploration im Meuse-District und im Norden des Haute-Marne-District vermessen, mit einem Dateninput von 68 regionalen Ölbohrlöchern.

Im Ergebnis aller Untersuchungen (auch der geologischen, hydrologischen etc.) ist die Größenordnung der ausgewählten Tonformation - der Callovo-Oxfordian-Argillite - abschätzbar:

- Mächtigkeit mindestens 130 m
- 155 Mio. Jahre alt,
- Tiefe zwischen 400 und 600 m

Im Rahmen der Untersuchungen zur Spezifizierung des Untergrund-Laboratoriums (1995 bis 1996) wurden zusätzlich noch hochauflösende 2D-seismische Messungen zur geologischen Schichterkundung durchgeführt (3 Profile, 15 km Länge insgesamt).

Diese Untersuchungen komplettierten die vorausgehenden Profile aus der Ölerkundung und verdichteten das Netz auf ca. 2 km um die geplante Laboratoriums-Site.

Die detaillierte Untersuchung von 350 km seismischer Profile im betrachteten Sektor hat gezeigt, dass die tektonischen Deformationen der letzten 150 Mio. Jahre in der Region nur auf den Condercourt- und Marne-Graben an den Rändern/Ecken des Sektors begrenzt sind. Zwischen diesen Verwerfungen ist die Callovo-Oxfordian-Formation ungestört und flach gelagert, was das Design der geplanten Anlage sehr erleichtert.

ANDRA (2005)

Qualität: 2 Quantität: 1 - 2 (keine genauen Angaben zum Profilabstand)

A1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Bohrlochgeophysik (spezifizierende Untersuchungen für die Laboratoriums-Site 1995-1996):

Im Kernbohrloch EST103 (523 m Tiefe) erfolgten bohrlochseismische Messungen, die mit den seismischen 2D-Messungen korreliert wurden hinsichtlich der Zielstellung, die verschiedenen geologischen Schichten zu unterscheiden.

In einem zusätzlichen Kernbohrloch EST107 (425 m Tiefe) wurde ein Messgerät für den hydraulischen Druck (EPG - elektromagnetischer Druckpegel) installiert, welches die Daten zur Oberfläche mittels elektromagnetischer Wellen übermittelte. Es misst den Druck in der geologischen Schicht kontinuierlich seit 1996.

ANDRA (2005)

Qualität: 2 Quantität: 1

Obwohl Spezialuntersuchungen durchgeführt wurden, nur Qualität 2, da kein Hinweis darauf existiert, welche Untersuchungen noch erfolgten.

A1.4 Geol. Kartierung

A1.5 Bohrungen

11 regionale Bohrungen (EST 3XX Serie) wurden innerhalb von 15 bis 20 km vom URL-Standort abgeteuft (FSP 'Forage Scientifique Profond'-Programm). Für die Schlagbohrungen wurde Luft als Spülung benutzt.

Qualität: 2 Quantität: 1

A1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A1.7 Feldmessungen - Geochemie

A1.8 Feldmessungen - Geomechanik

A1.9 Labor

A1.10 Untertage Geophysik

A1.11 Untertage geol. Kartierung

A1.12 Untertage Bohrungen

A1.13 Untertage In-situ-Messungen

A1.14 Untertage Labor

A2 Stratigraphie

A2.1 Fernerkundung

A2.2 Geophysik (übertägig)

A2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A2.4 Geol. Kartierung

A2.5 Bohrungen

A2.6 Feldmessungen - Geohydraulik**A2.7 Feldmessungen - Geochemie****A2.8 Feldmessungen - Geomechanik****A2.9 Labor****A2.10 Untertage Geophysik****A2.11 Untertage geol. Kartierung****A2.12 Untertage Bohrungen****A2.13 Untertage In-situ-Messungen****A2.14 Untertage Labor****A3 Strukturgeologie und Tektonik****A3.1 Fernerkundung****A3.2 Geophysik (übertägig)****A3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A3.4 Geol. Kartierung****A3.5 Bohrungen****A3.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A3.7 Feldmessungen - Geochemie****A3.8 Feldmessungen - Geomechanik****A3.9 Labor****A3.10 Untertage Geophysik****A3.11 Untertage geol. Kartierung****A3.12 Untertage Bohrungen****A3.13 Untertage In-situ-Messungen****A3.14 Untertage Labor****A4 Regionales Spannungsfeld****A4.1 Fernerkundung****A4.2 Geophysik (übertägig)****A4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A4.4 Geol. Kartierung****A4.5 Bohrungen**

Bezüglich der Spannungskomponenten liegen Ergebnisse von der URL-Lokation sowie aus dem Dogger (EST 210) der ca. 30 km entfernten Bohrung EST 312 vor, wobei insbesondere für den Dogger vergleichbare Ergebnisse ausgewiesen werden, was somit für regional gut vergleichbare Spannungsbedingungen spricht.

DELAY et al. (2007)

Qualität: 2 Quantität: 1

Anmerkung: wenige Bohrungen und nur zwei Lokationen sowie keine alternativen Testverfahren.

A4.6 Feldmessungen - Geohydraulik**A4.7 Feldmessungen - Geochemie****A4.8 Feldmessungen - Geomechanik****A4.9 Labor****A4.10 Untertage Geophysik****A4.11 Untertage geol. Kartierung****A4.12 Untertage Bohrungen****A4.13 Untertage In-situ-Messungen****A4.14 Untertage Labor****A5 Temperatur und Wärmeleitfähigkeit****A5.1 Fernerkundung****A5.2 Geophysik (übertägig)****A5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A5.4 Geol. Kartierung****A5.5 Bohrungen****A5.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A5.7 Feldmessungen - Geochemie****A5.8 Feldmessungen - Geomechanik****A5.9 Labor****A5.10 Untertage Geophysik****A5.11 Untertage geol. Kartierung****A5.12 Untertage Bohrungen****A5.13 Untertage In-situ-Messungen****A5.14 Untertage Labor****A6 Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z. B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)****A6.1 Fernerkundung****A6.2 Geophysik (übertägig)**Seismologie:

Zusätzlich zu den nationalen seismologischen Stationen wurde in einem Radius von 30 km um das Untergrundlaboratorium ein seismologisches Netzwerk zur Registrierung von Erdbeben eingerichtet. Nach Auswertung der seismologischen Daten wird die gesamte Region als nicht seismisch aktiv bezeichnet.

Qualität: 2 Quantität: 2

A6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**A6.4 Geol. Kartierung****A6.5 Bohrungen****A6.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A6.7 Feldmessungen - Geochemie****A6.8 Feldmessungen - Geomechanik**

A6.9 Labor**A6.10 Untertage Geophysik****A6.11 Untertage geol. Kartierung****A6.12 Untertage Bohrungen****A6.13 Untertage In-situ-Messungen****A6.14 Untertage Labor****A7 Rohstoffvorkommen****A7.1 Fernerkundung****A7.2 Geophysik (übertägig)****A7.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A7.4 Geol. Kartierung****A7.5 Bohrungen****A7.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A7.7 Feldmessungen - Geochemie****A7.8 Feldmessungen - Geomechanik****A7.9 Labor****A7.10 Untertage Geophysik****A7.11 Untertage geol. Kartierung****A7.12 Untertage Bohrungen****A7.13 Untertage In-situ-Messungen****A7.14 Untertage Labor*****B Eigenschaften des Wirtsgesteins und des Deckgebirges am Standort***

Die zweite Erkundungsetappe wurde im Zeitraum zwischen 1999 und 2005 durchgeführt und diente dazu, die notwendigen Daten für eine sichere Modellierung der Phänomene zu liefern, die wichtig für das Design und die Sicherheit der möglichen Endlagerstätte sind (z.B. Ausdehnung der Störungen, Kapazität der undurchlässigen Schicht, Transferprozesse der Radionuklide in der Tonschicht).

B1 Lithologie/Stratigraphie**B1.1 Fernerkundung****B1.2 Geophysik (übertägig)**Seismik:

3D-seismische Erkundungen (1999 bis 2000) auf 4 km² und mit den Kernbohrungen EST204 und EST205 entlang der 2 Schächte ergaben ein präziseres Abbildung der Geometrie der Schichten, insbesondere ein Volumenabbild von der künftigen Laboratoriums-Site. Es wurden keine Störungsphänomene erkundet, so dass bei der Tonschicht der Callovo-Oxfordian-Formation von einer großen Stabilität ausgegangen werden kann. Es wurden keine vertikalen Verwerfungen in der Tonschicht und der darüber liegenden Kalksteinschicht ermittelt. Es konnten subvertikale WNW-ESE-Strukturen mit geringen Verwerfungshöhen (2,50 m) entdeckt werden, deren exakte Ursache (Fracture oder spezifische geologische Struktur) jedoch erst zu einem späteren Zeitpunkt ermittelt wurde - Ergebnis: keine Verwerfung, sondern spezifische geologische Struktur (Vergleich mit Bohrlochgeophysik und Spannungsmessungen vom Schacht aus).

ANDRA (2005)

Qualität: 3 Quantität: 3

B1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**B1.4 Geol. Kartierung****B1.5 Bohrungen**

Die übertägige Erkundung in der geplanten Endlagerregion Meuse und Haute-Marne wurde in verschiedenen Phasen durchgeführt (DELAY et al., 2007b):

- regionale Standortauswahl für das Untertagelabor
 - vorläufige Erkundungsphase (1994 bis Mitte 1995)
 - Standortauswahl (Mitte 1995 bis Mitte 1996)
 - Interimsperiode mit Bewertung des Kenntnisstandes (1994 bis 1996)
- Arbeiten am Standort
 - Zeitraum 1999 bis Mitte 2002
 - seismische 3D-Messkampagne
 - Bohrlocharray: lithologische und hydrogeologische Charakterisierung des standortspezifischen Oxfordium- und Doggertonsteins
 - 2003 bis 2004 Revision des Untersuchungsprogramms und der durchgeführten Bohrungen

13 Bohrungen wurden innerhalb des Umrisses des URL abgeteuft (Forages de Reconnaissance de la Formation (FRF) Programm). Zielabschnitte bis hin zu einer maximalen Teufe von 840 m wurden mit Polymerspülung gekernt.

Qualität: 3 Quantität: 3

(Qualität 3 wurde trotz der nur teilweise gekerntten Bohrungen gewählt, weil die tatsächliche Quantität sehr hoch ist.)

11 Schlagbohrungen (PPA xxxx) wurden an der Oberfläche des URL-Standortes bis hin zum Oxfordian-Grundwasserleiter abgeteuft. 3 Bohrungen (EST 1011, 1020, 1021) wurden bis zum flachen Tithonian-Grundwasserleiter sowie 1 Bohrung bis zum tiefen Dogger-Grundwasserleiter abgeteuft.

Qualität: 2 Quantität: 3

B1.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B1.7 Feldmessungen - Geochemie****B1.8 Feldmessungen - Geomechanik****B1.9 Labor**

Im Rahmen der übertägigen Erkundungsarbeiten wurden seit 1994 27 Bohrungen abgeteuft, wobei insgesamt 4.000 Kernmeter aus dem zu charakterisierenden Tonhorizont gewonnen wurden (ANDRA, 2005). An Kernproben wurde ebenfalls ein aufwändiges Laborprogramm zur Bestimmung gesteinsmechanischer Kenngrößen durchgeführt (KRIEGUER et al., 2004).

Auf Basis der Laborversuche an Kernproben wurde für den Teufenbereich des URL eine vertikale Variabilität der geomechanischen Kenngrößen beobachtet, die zur Ausweisung von 5 Bereichen (Zone a - e) führte und jeweils mit bestimmten Lithologieparametern (Wasser-, Kalkgehalt etc.) schwach korreliert sind (KRIEGUER et al., 2004).

Qualität: 2 Quantität: 3

Anmerkung: Die Ursachen für die lithologische Streuung geomechanischer Kennwerte sind nicht eindeutig bekannt. Ebenfalls lieferten die an Kernmaterial bestimmten Gesteinskennwerte keine zufriedenstellende Basis für eine Prognose im Teufenbereich des URL.

B1.10 Untertage Geophysik**B1.11 Untertage geol. Kartierung**

Die Schachtwand wurde während des Abteufens kartiert.

ANDRA (2005)

Qualität: 1 Quantität: 2

B1.12 Untertage Bohrungen

Mindestens 26 Bohrungen wurden von untertage aus gestoßen.

ANDRA (2005)

Qualität: 2 Quantität: 3

B1.13 Untertage In-situ-Messungen**B1.14 Untertage Labor****B2 Geometrie****B2.1 Fernerkundung****B2.2 Geophysik (übertägig)**Seismik:

3D-seismische Erkundung (1999 bis 2000) auf 4 km² sowie mit den Kernbohrungen EST204 und EST205 entlang der 2 Schächte

- lieferten eine präzisere Abbildung der Geometrie der Schichten, insbesondere ein Volumenabbild von der künftigen Laboratoriums-Site
- *weitere Info's siehe B1.2*

ANDRA (2005)

Qualität: 3 Quantität: 3

B2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**B2.4 Geol. Kartierung****B2.5 Bohrungen**

13 Bohrungen wurden innerhalb des Umrisses des URL abgeteuft (Forages de Reconnaissance de la Formation (FRF) Programm). Zielabschnitte bis hin zu einer maximalen Teufe von 840 m wurden mit Polymerspülung gekernt.

Qualität: 3 Quantität: 3

(Qualität 3 wurde trotz der nur teilweise gekernten Bohrungen gewählt, weil die tatsächliche Quantität sehr hoch ist.)

11 Schlagbohrungen (PPA xxxx) wurden an der Oberfläche des URL-Standortes bis hin zum Oxfordian-Grundwasserleiter abgeteuft. 3 Bohrungen (EST 1011, 1020, 1021) wurden bis zum flachen Ti-thonian-Grundwasserleiter sowie 1 Bohrung bis zum tiefen Dogger-Grundwasserleiter abgeteuft.

Qualität: 2; Quantität: 3

B2.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B2.7 Feldmessungen - Geochemie****B2.8 Feldmessungen - Geomechanik**

B2.9 Labor**B2.10 Untertage Geophysik****B2.11 Untertage geol. Kartierung****B2.12 Untertage Bohrungen****B2.13 Untertage In-situ-Messungen****B2.14 Untertage Labor****B3 Makro-Struktur****B3.1 Fernerkundung****B3.2 Geophysik (übertägig)**Seismik:

3D-seismische Erkundung (1999 bis 2000) auf 4 km² sowie mit den Kernbohrungen EST204 und EST205 entlang der 2 Schächte.

- Es wurden keine Störungsphänome erkundet, so dass bei der Tonschicht der Callovo-Oxfordian-Formation von einer großen Stabilität ausgegangen werden kann.
- Es wurden keine vertikalen Verwerfungen in der Tonschicht und der darüber liegenden Kalksteinschicht gefunden.
- *weitere Info's siehe B1.2*

ANDRA (2005)

Qualität: 3 Quantität: 3

B3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**B3.4 Geol. Kartierung****B3.5 Bohrungen**

Die in der standortspezifischen 3D-Seismik identifizierten mutmaßlichen Inhomogenitäten wurden durch drei Bohrungen (EST210, 211 und 361) überprüft, wobei es keine Hinweise auf Störungszonen gab.

DELAY et al. (2007b)

Qualität: 3 Quantität: 2

B3.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B3.7 Feldmessungen - Geochemie****B3.8 Feldmessungen - Geomechanik****B3.9 Labor****B3.10 Untertage Geophysik****B3.11 Untertage geol. Kartierung****B3.12 Untertage Bohrungen****B3.13 Untertage In-situ-Messungen****B3.14 Untertage Labor****B4 Mikro-Struktur****B4.1 Fernerkundung**

B4.2 Geophysik (übertägig)Seismik:

3D-seismische Erkundung (1999 bis 2000) auf 4 km² sowie mit den Kernbohrungen EST204 und EST205 entlang der 2 Schächte.

- Es konnten subvertikale WNW-ESE-Strukturen mit geringen Verwerfungshöhen (2,50 m) entdeckt werden, deren exakte Ursache (Fracture oder spezifische geologische Struktur) jedoch erst zu einem späteren Zeitpunkt ermittelt wurde. Ergebnis: keine Verwerfung sondern spezifische geologische Struktur (Vergleich mit Bohrlochgeophysik und Spannungsmessungen vom Schacht aus)
- *weitere Info's siehe B1.2*

Zusammenfassend zeigten die Ergebnisse der 3D-Seismik und der Bohrungen, dass in der Ton-schicht der Callovo-Oxfordian-Formation nur Mikrorisse vorhanden sind, die sich zudem überwiegend am oberen und unteren Ende der Formation befinden.

ANDRA (2005)

Qualität: 3 Quantität: 3

B4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Bohrlochgeophysik (spezifizierende Untersuchungen 2003 bis 2004):

Im Kernbohrloch EST210 im Dogger-Kalkstein erfolgten bohrlochseismische Messungen, die mit den 3D-Messungen korreliert wurden. Die Messungen bestätigten die Ergebnisse der 3D-Seismik, dass keine Verwerfungen im Dogger vorliegen, sondern nur die normalen geometrischen und sedimentologischen Eigenschaften eines Korallenmassivs.

ANDRA (2005)

Qualität: 2 Quantität: 1

Obwohl Spezialuntersuchungen durchgeführt wurden, nur Qualität 2, da kein Hinweis darauf existierte, welche Untersuchungen noch erfolgten.

B4.4 Geol. Kartierung**B4.5 Bohrungen****B4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B4.7 Feldmessungen - Geochemie****B4.8 Feldmessungen - Geomechanik****B4.9 Labor**

Gesteinsphysikalische Untersuchungen (d.h. P-Wellentomographie, Anisotropie der magnetischen Suszeptibilität) in Verbindung mit Röntgencomputertomographie zur Quantifizierung der gefügeinduzierten elastischen Anisotropie und Identifizierung der ursächlichen Mikrostrukturparameter.

DAVID et al. (2007)

Qualität: 3 Quantität: 1 (Anmerkung: Spezialuntersuchung, nicht repräsentativ)

Gesteinsphysikalische Untersuchungen (d.h. Kopplung von Porosimetrie und Anisotropie der magnetischen Suszeptibilität sowie Rasteraufnahmen in Relation zur Lithologie) an Kernmaterial der Bohrung HTM 102 (weniger als 10 Proben).

ESTEBAN et al. (2007)

Qualität: 3 Quantität: 1 (Anmerkung: Spezialuntersuchung, nicht repräsentativ)

B4.10 Untertage Geophysik**B4.11 Untertage geol. Kartierung****B4.12 Untertage Bohrungen**

B4.13 Untertage In-situ-Messungen**B4.14 Untertage Labor****B5 In-situ-Spannungsverhältnisse****B5.1 Fernerkundung****B5.2 Geophysik (übertägig)****B5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B5.4 Geol. Kartierung****B5.5 Bohrungen****B5.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B5.7 Feldmessungen - Geochemie****B5.8 Feldmessungen - Geomechanik**

Auf Basis von Bohrlochmessungen (EST 204 - Vorbohrung Schacht; EST 205 - Vorbohrung Hilfschacht) wurde mittels Hydrofracmessungen das an der Lokation vorherrschende Spannungsfeld abgeschätzt. Darüber hinaus liegen Messwerte aus den Bohrungen EST 209, EST 361, EST 312 und EST 210 vor (DELAY et al., 2007b):

- $\sigma_{\text{vert}} \approx$ Gesteinsauflast
- 2 horizontale Spannungskomponenten, wobei die maximale Komponente nach N155°E +/- 10° orientiert ist (WILEVEAU, 2004). Zusätzlich liegen Referenzmessungen von einer 10 km entfernten Bohrung der unterlagernden Gesteinsformation vor.

Qualität: 2 Quantität: 3 (keine alternativen Testverfahren)

B5.9 Labor**B5.10 Untertage Geophysik****B5.11 Untertage geol. Kartierung****B5.12 Untertage Bohrungen****B5.13 Untertage In-situ-Messungen****B5.14 Untertage Labor****B6 Mineralogie****B6.1 Fernerkundung****B6.2 Geophysik (übertägig)****B6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B6.4 Geol. Kartierung****B6.5 Bohrungen****B6.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B6.7 Feldmessungen - Geochemie****B6.8 Feldmessungen - Geomechanik****B6.9 Labor**

Etwa 80 Proben des Argillits aus Bohrungen am URL-Standort wurden zur Analyse der enthaltenen Tonmineralien verwendet.

ANDRA D RP ADPE 04 1245/A (2004)

Qualität: ? Quantität: ?

B6.10 Untertage Geophysik**B6.11 Untertage geol. Kartierung****B6.12 Untertage Bohrungen****B6.13 Untertage In-situ-Messungen****B6.14 Untertage Labor****B7 Petrophysikalische Eigenschaften****B7a Gesteinsmechanik****B7a.1 Fernerkundung****B7a.2 Geophysik (übertägig)****B7a.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7a.4 Geol. Kartierung****B7a.5 Bohrungen**

Im Rahmen der übertägigen Erkundungsarbeiten wurden seit 1994 27 Bohrungen abgeteuft, wobei insgesamt 4.000 Kernmeter aus dem zu charakterisierenden Tonhorizont gewonnen wurden (ANDRA, 2005). An Kernproben wurde ebenfalls ein aufwändiges Laborprogramm zur Bestimmung gesteinsmechanischer Kenngrößen durchgeführt (z.B. ANDRA, 2001; KRIEGUER et al., 2004). Auf Basis der Laborversuche an Kernproben sind in Zusammenarbeit von ANDRA und INERIS bereits standortspezifische, elasto-plastische Modellansätze entwickelt worden (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Vergleich von Stoffansätzen zur Modellierung der mechanischen Eigenschaften von Tongesteinen

	NAGRA	SCK. CEN	G3S	LML	CGES	DBE	LAEGO	ANDRA - INERIS
Modèle géométrique	3D	3D	2D axisymétrique	2D axisymétrique	2D Plan	3D	2D axisymétrique	3D
Code numérique	FLAC3D	FLAC3D	Abaqus	THMPASA	VIPLEF	FLAC3D	Co-de_Aster	FLAC3D
Couplage HM	oui	oui	oui en non saturé	oui en non saturé	non	oui en saturé	oui en saturé	non
E (MPa) non drainé	7.000	5.600	9.000	4.000	13.000	9.000	4.500	E1 = 6.960 E3 = 8.700
Rc	16MPa	29MPa	20 MPa	21 MPa	21 MPa	25 MPa	7,3 MPa	-
Rt	-	-	5 MPa	2,5 MPa	-	2.1 MPa	1,8 MPa	-
Loi de comportement court terme	EPE	EPP	Elastique	EPD	EPE Mohr-Coulomb	EPP Mohr-Coulomb	EPE	Elastique
Loi de fluage	Salzer model	Kelvin model	-	-	-	Norton	Lemaître	-

* EPE - Modèle élasto-plastique avec écrouissage ; EPP - Modèle élasto-plastique parfait ;
EPD - Modèle élasto-plastique avec endommagement

Qualität: 2 Quantität: 3

Anmerkung: Die an Kernmaterial bestimmten Gesteinskennwerte lieferten keine zufriedenstellende Basis für eine geomechanische Prognose im Teufenbereich des URL (Abwertung trotz qualitativ hochwertiger Untersuchungsmethodik).

B7a.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B7a.7 Feldmessungen - Geochemie****B7a.8 Feldmessungen - Geomechanik**

Zur Verifizierung von Modellannahmen wurden geomechanische Messungen in drei Bohrungen im Callovo-Oxfordium (EST 209 und EST 361) und Doggertonstein (EST 210) durchgeführt.

DELAY et al. (2007b)

Qualität: 3 Quantität: 2

B7a.9 Labor**B7a.10 Untertage Geophysik****B7a.11 Untertage geol. Kartierung****B7a.12 Untertage Bohrungen****B7a.13 Untertage In-situ-Messungen**

Nach Beginn der Schachtauffahrung 2004 wurde im Teufenbereich von 445 m in einem Horizontalstreckenstummel ein Messort installiert, der mittels eines Bohrlocharrays von insgesamt 16 Bohrungen folgenden Untersuchungsschwerpunkten mit Einsatz entsprechender Untersuchungsverfahren diente (DELAY et al., 2007):

- Geomechanische Messungen
 - 2 Bohrungen (Extensometer)
 - 1 Bohrung (Inklinometer)
 - 4 Bohrungen (Deformationsgeber konventionell); 1 Bohrung (fiberoptisches Messverfahren)
 - 1 Bohrung (Dilatometer)
- Geohydraulische Messungen
 - 4 Bohrungen (Porendruckgeber); Permeabilitätsmessungen
- Quantifizierung der EDZ
 - 3 Bohrungen (Ultraschall-Messungen)

Das mit Beginn der Auffahrung der Schächte bzw. des horizontalen Streckensystems durch gesteinsmechanische Messungen beobachtete Verformungsverhalten (im wesentlichen Konvergenz- und Porendruckmessungen) wird begleitend durch numerische Modellstudien nachvollzogen.

KRIEGER et al. (2004)

Qualität: 3 Quantität: 3

B7a.14 Untertage Labor**B7b Hydraulisch (z. B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)****B7b.1 Fernerkundung****B7b.2 Geophysik (übertägig)****B7b.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7b.4 Geol. Kartierung****B7b.5 Bohrungen****B7b.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7b.7 Feldmessungen - Geochemie****B7b.8 Feldmessungen - Geomechanik**

B7b.9 Labor

Die Gas- und Lösungspermeabilitäten von Kernstücken aus zwei Bohrungen (EST205, MSE101) wurden bestimmt.

DAVY et al. (2007)

Die Porosität des Argillits wurde für 8 Proben von der Bohrung EST207 (am Standort des URL) bestimmt. Die Porosität der Formationen wurde für 70 Proben von den EST-Bohrungen bestimmt.

ANDRA D RP ADPE 04 1245 (2004)

Qualität: 1 Quantität: 3

Anmerkung: Es liegen umfangreiche Messergebnisse vor, wobei aber die Bedeutung der Einzelergebnisse aufgrund der Randbedingungen (Auflockerung etc. bei Probennahme) unklar ist.

B7b.10 Untertage Geophysik**B7b.11 Untertage geol. Kartierung****B7b.12 Untertage Bohrungen****B7b.13 Untertage In-situ-Messungen****B7b.14 Untertage Labor****B7c Diffusion****B7c.1 Fernerkundung****B7c.2 Geophysik (übertägig)****B7c.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7c.4 Geol. Kartierung****B7c.5 Bohrungen****B7c.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7c.7 Feldmessungen - Geochemie****B7c.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7c.9 Labor**

Umfassende Messungen des Diffusionskoeffizienten laufen. 8 Proben des Argillits wurden zur Bestimmung der Koeffizienten D_e für HTO, Cl^- und I^- zusammen mit den entsprechenden scheinbaren Porositäten ω_a benutzt.

ANDRA C.NT.ASTR.03.0022.B

Qualität: ? Quantität: ?

B7c.10 Untertage Geophysik**B7c.11 Untertage geol. Kartierung****B7c.12 Untertage Bohrungen**

Eine kombinierte Auswertung hydrogeologischer Messungen zur Bestimmung der Permeabilität (5 Bohrungen) und Druckaufbautests sowie Diffusionsmessungen (1 Bohrloch EST 207) mit verschiedenen EPG-Tools („electro-magnetic pressure gauge“-Sensoren) ermöglichten eine umfangreiche Charakterisierung der gesteinspezifischen hydraulischen Transportparameter.

DELAY et al. (2007c)

Qualität: 3 Quantität: 1

Anmerkung: Spezialuntersuchungen, die für In-situ-Bedingungen repräsentative Diffusionseigenschaften liefern sollen, aber noch nicht abgeschlossen sind.

B7c.13 Untertage In-situ-Messungen

B7c.14 Untertage Labor

B7d Thermisch

B7d.1 Fernerkundung

B7d.2 Geophysik (übertägig)

B7d.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7d.4 Geol. Kartierung

B7d.4 Geol. Kartierung

B7d.5 Bohrungen

B7d.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7d.7 Feldmessungen - Geochemie

B7d.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7d.9 Labor

B7d.10 Untertage Geophysik

B7d.11 Untertage geol. Kartierung

B7d.12 Untertage Bohrungen

B7d.13 Untertage In-situ-Messungen

B7d.14 Untertage Labor

B7e THMC-Kopplung

B7e.1 Fernerkundung

B7e.2 Geophysik (übertägig)

B7e.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7e.4 Geol. Kartierung

B7e.5 Bohrungen

B7e.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7e.7 Feldmessungen - Geochemie

B7e.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7e.9 Labor

B7e.10 Untertage Geophysik

B7e.11 Untertage geol. Kartierung

B7e.12 Untertage Bohrungen

B7e.13 Untertage In-situ-Messungen

B7e.14 Untertage Labor

B7f Chemische Eigenschaften (z. B. Oxidation, Adsorption)

B7f.1 Fernerkundung

B7f.2 Geophysik (übertägig)

B7f.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7f.4 Geol. Kartierung**B7f.5 Bohrungen****B7f.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7f.7 Feldmessungen - Geochemie****B7f.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7f.9 Labor****B7f.10 Untertage Geophysik****B7f.11 Untertage geol. Kartierung****B7f.12 Untertage Bohrungen****B7f.13 Untertage In-situ-Messungen****B7f.14 Untertage Labor*****C Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)*****C1 Hydraulisch wirksame Einheiten****C1.1 Fernerkundung****C1.2 Geophysik (übertägig)****C1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C1.4 Geol. Kartierung****C1.5 Bohrungen**

4 FSP-Schlagbohrungen wurden benutzt, um die Oxfordian-Schichten zu untersuchen. 3 FSP-Schlagbohrungen wurden benutzt, um die Dogger-Schichten zu untersuchen.

ANDRA C.NT.ASMG.03.0108.B

Qualität: 2 Quantität: 3 (vgl. C1.6)

C1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

Während der Messkampagne 1994 bis 1996 wurden in den Bohrungen HTM102, EST102, EST 107 und MSE101 sowie in der 2003/2004 in den Bohrungen EST 363 EST212, EST211 und EST207 mittels unterschiedlicher Packeranordnungen und Verfahren die hydraulischen Durchlässigkeiten im URL-Wirtshorizont bestimmt (DELAY et al., 2007b, DISTINGUIN & LAVANCHY, 2007). Dabei wurden Kurzzeitmessungen in 19 Messintervallen sowie 9 Langzeitmessungen in Multi-Packer-Anordnungen ausgewertet. Darüber hinaus wurden in fünf dieser Bohrungen 6 Langzeitmessungen nach das EPG-Verfahren (electro-magnetic pressure gauge-Sensoren) durchgeführt.

DISTINGUIN & LAVANCHY (2007)

Qualität: 3 Quantität: 3

Anmerkung: Die in unterschiedlichen Teufen mit unterschiedlichen Geometrien und Verfahren bestimmten Messwerte zeigen eine hervorragende Übereinstimmung.

C1.7 Feldmessungen - Geochemie**C1.8 Feldmessungen - Geomechanik****C1.9 Labor****C1.10 Untertage Geophysik****C1.11 Untertage geol. Kartierung****C1.12 Untertage Bohrungen**

C1.14 Untertage In-situ-Messungen**C1.15 Untertage Labor****C2 Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein****C2.1 Fernerkundung****C2.2 Geophysik (übertägig)****C2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C2.4 Geol. Kartierung****C2.5 Bohrungen**

Eine kombinierte Auswertung hydrogeologischer Messungen zur Bestimmung der Permeabilität (5 Bohrungen) und Druckaufbautests sowie Diffusionsmessungen (1 Bohrloch EST 207) mit verschiedenen EPG-Tools ermöglichten eine umfangreiche Charakterisierung der gesteinspezifischen hydraulischen Transportparameter.

DELAY et al. (2007c)

Qualität: 3 Quantität: 2

Anmerkung: Spezialuntersuchungen, die für ein vertikales Teufenprofil im Tonhorizont eine vorläufige Bewertung der Porendruckverteilung lieferten.

C2.6 Feldmessungen - Geohydraulik

Messungen des Porenwasserdruckes im Argillit wurden in 8 Bohrungen durchgeführt ('PEP' Experiment). Die dafür verwendeten Methoden schließen Piezometer, EPG-Geber sowie Westbay-Multipacker-Installationen ein.

Dossier 2005 Argile, ANDRA TEP-02-01-2007

Qualität: 2,5 Quantität: 2

Zu langfristigen Beobachtungen des Porenwasserdruckes im Argillit wurden 11 Druckgeber in Bohrungen von der Oberfläche aus eingebaut.

Qualität: 3 Quantität: 2

C2.7 Feldmessungen - Geochemie**C2.8 Feldmessungen - Geomechanik****C2.9 Labor****C2.10 Untertage Geophysik****C2.11 Untertage geol. Kartierung****C2.12 Untertage Bohrungen****C2.13 Untertage In-situ-Messungen**

Zur langfristigen Beobachtungen des Porenwasserdruckes im Argillit wurden 5 Druckgeber in Bohrungen vom URL eingebaut.

Qualität: 3 Quantität: 3

C2.14 Untertage Labor**C3 Fließ- und Speicherparameter****C3.1 Fernerkundung**

C3.2 Geophysik (übertägig)**C3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C3.4 Geol. Kartierung****C3.5 Bohrungen****C3.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

Die Durchlässigkeit des Argillits wurde in 8 Bohrungen von der Oberfläche aus gemessen ('PEP' Experiment).

Qualität: 3 Quantität: 2

Die Durchlässigkeit des Doggers wurde in 2 (EST) Bohrungen gemessen.

ANDRA C.NT.ASMG.03.0108.B

Qualität: 3 Quantität: 1

C3.7 Feldmessungen - Geochemie**C3.8 Feldmessungen - Geomechanik****C3.9 Labor****C3.10 Untertage Geophysik****C3.11 Untertage geol. Kartierung****C3.12 Untertage Bohrungen****C3.13 Untertage In-situ-Messungen**

Die Durchlässigkeit des Argillits wurde in ca. 18 Bohrungen vom URL gemessen.

ANDRA (2005)

Qualität: 3 Quantität: 3

C3.14 Untertage Labor**C4 Zwei-Phasenflussparameter****C4.1 Fernerkundung****C4.2 Geophysik (übertägig)****C4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C4.4 Geol. Kartierung****C4.5 Bohrungen****C4.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

Messungen der Gas-Durchlässigkeit wurden durchgeführt.

Andra C.NT.ASMG.03.0108.B

Qualität: ? Quantität: ?

C4.7 Feldmessungen - Geochemie**C4.8 Feldmessungen - Geomechanik****C4.9 Labor****C4.10 Untertage Geophysik****C4.11 Untertage geol. Kartierung**

C4.12 Untertage Bohrungen**C4.13 Untertage In-situ-Messungen****C4.14 Untertage Labor****D Hydrochemie****D1 Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)****D1.1 Fernerkundung****D1.2 Geophysik (übertägig)****D1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D1.4 Geol. Kartierung****D1.5 Bohrungen****D1.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D1.7 Feldmessungen - Geochemie****D1.8 Feldmessungen - Geomechanik****D1.9 Labor**

6 Grundwasserproben von den Grundwasserleitern am URL-Standort sowie 38 Porenwasserproben des Argillits wurden auf $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^2\text{H}/^1\text{H}$ analysiert.

Qualität: 3 Quantität: 3

6 Grundwasserproben von den Grundwasserleitern am URL-Standort wurden auf ^3H , ^{14}C sowie ^{36}Cl und 8 Proben auf $^{37}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$ analysiert.

Qualität: 3 Quantität: 3 (^3H)

Qualität: 3 Quantität: 3 (^{14}C)

Qualität: 3 Quantität: 3 (^{36}Cl , $^{37}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$)

21 Analysen wurden von ^4He in niedrig durchlässigen Gesteinen am URL-Standort über Ausgasung von Kernen gemacht.

Qualität: 3 Quantität: 3

ANDRA 2005b, ANDRA 2005c, ANDRA 2005d, BIGLER et al. 2005, BOUCHET 2004d, BOUCHET 2004e, BUSCHAERT et al. 2007, GIANNESINI et al. 2004, NICOD & ROSSI 2004, WABER 2005

Wasserproben von regionaler Beprobung der Grundwasserleiter wurden auf $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^2\text{H}/^1\text{H}$ (18 Proben), ^3H (11 Proben) sowie ^{14}C und $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (einige Proben) analysiert. 28 regionale Proben von Kernauslaugung sowie 5 von Grundwasserleitern wurden auf $^{37}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$ analysiert.

ANDRA 2005b, ANDRA 2005c, ANDRA 2005d, BOUCHET 2004a, BOUCHET 2004b, BOUCHET 2004c, BUSCHAERT et al. 2007, GIANNESINI et al. 2004, LAVASTRE 2002, LAVASTRE et al. 2005, MANGEOT 2003, ROUSSET et al. 2003a, ROUSSET et al. 2003b

Qualität: 3 Quantität: 1 ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^2\text{H}/^1\text{H}$)

Qualität: 3 Quantität: 1 (^3H)

Qualität: 3 Quantität: 1 (^{14}C und $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$)

D1.10 Untertage Geophysik**D1.11 Untertage geol. Kartierung****D1.12 Untertage Bohrungen****D1.13 Untertage In-situ-Messungen****D1.14 Untertage Labor**

D2 Porenwasserchemismus**D2.1 Fernerkundung****D2.2 Geophysik (übertägig)****D2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D2.4 Geol. Kartierung****D2.5 Bohrungen****D2.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D2.7 Feldmessungen - Geochemie**

Messungen der elektrischen Leitfähigkeit, pH sowie Eh erfolgten für 7 Grundwasserproben von den Grundwasserleitern am URL-Standort.

Qualität: 2 Quantität: 2 (Leitfähigkeit)

Qualität: 2 Quantität: 3 (pH)

Qualität: 2 Quantität: 3 (Eh)

Messungen der elektrischen Leitfähigkeit, pH, Eh sowie des gelösten Sauerstoffs erfolgten für 11 regionale Grundwasserproben von den Grundwasserleitern.

Qualität: 2 Quantität: 1 (Leitfähigkeit)

Qualität: 2 Quantität: 1 (pH)

Qualität: 2 Quantität: 1 (Eh sowie gelöster Sauerstoff)

Qualität: 2 Quantität: 1

D2.8 Feldmessungen - Geomechanik**D2.9 Labor**

7 Grundwasserproben von den Grundwasserleitern am URL-Standort wurden auf gelöste Hauptsubstanzen sowie Spurenelemente analysiert.

Qualität: 3 Quantität: 3

59 Porenwasserkompositionen im Argillit sowie niedrig durchlässige Gesteine am URL-Standort wurden über Laugungsversuche bestimmt. Cl wurde analysiert. 18 ausgepresste Porenwasserproben wurden auf gelöste Hauptsubstanzen sowie Isotopen ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$; $2\text{H}/1\text{H}$) analysiert.

ANDRA 2005b, ANDRA 2005c, ANDRA 2005d, BOUCHET 2004d, BOUCHET 2004e, BUSCHAERT et al. 2007, FERNANDEZ et al. 2005, NICOD & ROSSI 2004, WABER 2005

Qualität: 3 Quantität: 3 (Hauptsubstanzen)

Qualität: 3 Quantität: 3 (Isotopen)

21 regionale Grundwasserproben von den Grundwasserleitern wurden auf gelöste Haupt- und Spurensubstanzen analysiert.

Qualität: 3 Quantität: 1 (Hauptsubstanzen)

114 regionale Porenwasserkompositionen im Argillit sowie niedrig durchlässige Gesteine wurden über Laugungsversuche bestimmt. Cl wurde analysiert. 13 ausgepresste Porenwasserproben wurden auf gelöste Hauptsubstanzen sowie Isotopen ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$; $2\text{H}/1\text{H}$) analysiert.

ANDRA 2005b, ANDRA 2005c, ANDRA 2005d, BLACKWELL et al. 1995a, BLACKWELL et al. 1995b, BOUCHET 2004a, BOUCHET 2004b, BOUCHET 2004c, BUSCHAERT et al. 2007, LAVASTRE 2002, LAVASTRE et al. 2005, MANGEOT 2003, REEDER et al. 1997a, REEDER et al. 1997b, ROUSSET et al. 2003a, ROUSSET et al. 2003b

Qualität: 3 Quantität: 1

D2.10 Untertage Geophysik

D2.11 Untertage geol. Kartierung

D2.12 Untertage Bohrungen

D2.13 Untertage In-situ-Messungen

D2.14 Untertage Labor

Grundwasserproben von 3 Bohrungen (PAC1002, SUG1106, SUG1107) im URL wurden analysiert.

Qualität: 3 Quantität: 1

D3 Transporteigenschaften

D3.1 Fernerkundung

D3.2 Geophysik (überfällig)

D3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

D3.4 Geol. Kartierung

D3.5 Bohrungen

D3.6 Feldmessungen - Geohydraulik

D3.7 Feldmessungen - Geochemie

D3.8 Feldmessungen - Geomechanik

D3.9 Labor

D3.10 Untertage Geophysik

D3.11 Untertage geol. Kartierung

D3.12 Untertage Bohrungen

D3.13 Untertage In-situ-Messungen

Diffusionsmessungen (DIR) wurden auf 2 Ebenen des URL durchgeführt.

ANDRA (2005)

Qualität: ? Quantität: ?

D3.14 Untertage Labor

D4 Kolloide usw.

D4.1 Fernerkundung

D4.2 Geophysik (überfällig)

D4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

D4.4 Geol. Kartierung

D4.5 Bohrungen

D4.6 Feldmessungen - Geohydraulik

D4.7 Feldmessungen - Geochemie

D4.8 Feldmessungen - Geomechanik

D4.9 Labor

D4.10 Untertage Geophysik

D4.11 Untertage geol. Kartierung

D4.12 Untertage Bohrungen

D4.13 Untertage In-situ-Messungen**D4.14 Untertage Labor****ZITATE**

(Die mit * gekennzeichneten Zitate befinden sich auf dem beiliegenden Datenträger.)

- *ANDRA (2001): Dossier 2001 Argile, Progress report on feasibility studies & research into deep geological disposal of high-level, long-lived waste - Synthesis report.
- *ANDRA (2005): Dossier 2005 Argile, Synthesis - Evaluation of the feasibility of a geological repository in an argillaceous formation Meuse/Haute-Marne-Site.
- ANDRA (2005b): Callovo-Oxfordien - Rapport de synthèse, Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute Marne. Andra report D.RP.ADPE.04.1110, Andra, Châtenay-Malabry, France.
- ANDRA (2005c): Oxfordien calcaire - Rapport de synthèse, Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute Marne. Andra report D.RP.ADPE.04.1109, Andra, Châtenay-Malabry, France.
- ANDRA (2005d): Formation Dogger - Rapport de synthèse, Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute Marne. Andra report D.RP.ADPE.05.0302, Andra, Châtenay-Malabry, France.
- *BIGLER, T., IHLY, B., LEHMANN, B. E. & WABER, H. N. (2005): Helium production and transport in the low-permeability Callovo-Oxfordian shale at the site Meuse/Haute Marne, France. NAB 05-07.
- *BOUCHER, A. (2004a): Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute Marne. Analyses minéralogiques et géochimiques. EST 312 Rapport de mesures final.
- *BOUCHER, A. (2004b): Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute Marne. Analyses minéralogiques et géochimiques. EST 322 Rapport de mesures final.
- *BOUCHER, A. (2004c): Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute Marne. Analyses minéralogiques et géochimiques. EST 342 Rapport de mesures final.
- *BOUCHER, A. (2004d): Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute Marne. Analyses minéralogiques et géochimiques. EST 212 Rapport de mesures final.
- *BOUCHER, A. (2004e): Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute Marne. Analyses minéralogiques et géochimiques. EST 207 Rapport de mesures final.
- *BUSCHAERT, S., GIANNESINI, S., LAVASTRE, V., BENEDETTI, L., GAUCHER, E., LACROIS, M., LAVIELLE, B., MICHELOT, J. L., FRANCE-LANORD, C., BOURLES, D., LANCELOT, J., BENABDERRAHMANE, H., DEWONCK, S. & VINSOT, A. (2007): The contribution of water geochemistry to the understanding of the regional hydrogeological system. Mémoires de la Société géologique de France 178, 91 - 114.
- *DAVID, C; ROBION, P. & MENÉNDEZ, B. (2007): Anisotropy of elastic, magnetic and microstructural properties of the Callovo-Oxfordian argillite. Physics and Chemistry of the Earth, v. 32, iss. 1-7, p. 145-153.
- *DAVY, C. A., SKOCZYLAS, F., BARNICHON, J.-D. & LEBON P. (2007): Permeability of macro-cracked argillite under confinement: Gas and water testing. Physics and Chemistry of the Earth, v. 32, iss. 8-14, p. 667-680.
- *DELAY, J., VINSOT, A., KRIEGUER, J.-M., REBOURS, HERVÉ & ARMAND, G. (2007a): Making of the underground scientific experimental programme at the Meuse/Haute-Marne underground research laboratory, North Eastern France. Physics and Chemistry of the Earth, v. 32, iss. 1-7, p. 2-18.
- *DELAY, J., REBOURS, H., VINSOT, A & ROBIN, P. (2007b): Scientific investigation deep wells for nuclear waste disposal studies at the Meuse/Haute-Marne underground research laboratory, North Eastern France. Physics and Chemistry of the Earth, v. 32, iss. 1-7, p. 42-57.
- *DELAY, J., DISTINGUIN, M. & DEWONCK, S. (2007c): Characterization of a clay-rich rock through development and installation of specific hydrogeological and diffusion test equipment in deep boreholes. Physics and Chemistry of the Earth, v. 32, iss. 1-7, p. 393-407.

- *Distinguin, M. & Lavanchy, J. M. (2007): Determination of hydraulic properties of the Callovo-Oxfordian argillite at the Bure site: synthesis of the results obtained in deep boreholes using several In-situ investigation techniques. *Physics and Chemistry of the Earth*, 32, 379–392.
- *Esteban, L., Géraud, Y. & Bouchez, J. L. (2007): Pore network connectivity anisotropy in Jurassic argillite specimens from eastern Paris Basin (France). *Physics and Chemistry of the Earth*, 32, 161-169.
- Giannesini, S., France-Lanord, C., Palhol, F. & Guilmette, C. (2004): Analyses isotopiques H et O dans les eaux de formation de calcaires oxfordiens et bathoniens. GdR FORPRO Rapport d'étape de l'Action 2003 (2004/07 Re), GdR FORPRO (ANDRA-CNRS scientific partnership), France.
- *Krieguer, J.-M., Delay, J. & Aranyossy, J. F. (2004). In-situ experimental programme related to the Excavated Damaged Zone (EDZ) in the Callovo-Oxfordian argillite Andra Underground Research Laboratory – Bure. NF-PRO D4.2.7.
- *Lavastre, V. (2002): Evénements sédimentaires, diagénétiques et post-diagénétiques dans la formation argileuse du Callovo-Oxfordien (Bassin de Paris, France) : enregistrement isotopique des minéraux et de l'eau porale. These doctorale de l'Université Paris VII.
- *Lavastre, V., Jendrzejewski, N., Agrinier, P., Javozy, M. & Evrard, M (2005): Chlorine transfer out of a very low permeability clay sequence (Paris Basin, France): ^{35}Cl and ^{37}Cl evidence. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 69, No. 21, pp. 4949-4961.
- *Mangeot, A. (2003): Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute Marne. Suivi des forages scientifiques profonds. EST 342 Rapport de opération.
- *Nicod, S. & Rossi, F. (2004): Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute Marne. Suivi des forages scientifiques profonds. EST 207 Rapport de mesure.
- *Rousset, C., Mangeot, A. & Rosier, Y (2003): Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute Marne. Suivi des forages scientifiques profonds. EST 321 et EST 322 Rapport de opération.
- *Rousset, C., Mangeot, A. & Schranzhofer, C (2003): Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute Marne. Suivi des forages scientifiques profonds. EST 311 et EST 312 Rapport de opération.
- Waber, H. N. (2005): Laboratoire de recherche souterrain Meuse/Haute Marne - 2H and Cl in pore water of the Callovo-Oxfordian18O, and surrounding rock formations. Nagra Arbeitsbericht NAB 05-02, Nagra, Wettingen, Switzerland.
- *Wileveau, Y. (2004): Determination of In-situ stress at the Meuse/Haute-Marne Underground Research Laboratory, Northeastern France, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 6, 05876, 2004 Sref-ID:1607-7962/gra/EGU04-A-05876, 2004.

BURE	Erkundungs- methoden: 1-9 übertägig 10-14 untertägig	Fernerkundung	Geophysik (übertägig)	Geophysik (im Bohrloch)	Geol. Kartierung	Bohrungen	Feldmessungen - Geohydraulik	Feldmessungen - Geochemie	Feldmessungen - Geomechanik	Labor	Geophysik	geologische Kartierung	Bohrungen	In-situ- Messungen	Labor	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Inhalte der Themenkomplexe		Bezeichnungen														
Regionale Geologie (20 km*20 km)																
Wirtsgestein / Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)	A1															
Stratigraphie	A2															
Strukturgeologie und Tektonik (Störungsmuster, Faltung)	A3															
Regionales Spannungsfeld	A4															
Temperatur und Wärmeleitfähigkeit	A5															
Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z.B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)	A6															
Rohstoffvorkommen	A7															
Eigenschaften des Wirtsgesteins und des Deckgebirges am Standort																
Lithologie	B1															
Geometrie (Tiefenlage, Ausdehnung)	B2															
Makro-Struktur (Großgefüge: Störungen / Faltungen / Deformationen / Klüfte)	B3															
Mikro-Struktur (Korngefüge / Porenstruktur)	B4															
In-situ-Spannungsverhältnisse	B5															
Mineralogie	B6															
Petrophysikalische Eigenschaften (Probenmaßstab):																
Gesteinsmechanik (z.B. Festigkeit, Kriechen)	B7a															
Hydraulik (z.B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)	B7b															
Diffusion	B7c															
Thermik	B7d															
THMC-Kopplung	B7e															
Chemismus (z.B. Oxidation, Adsorption)	B7f															
Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)																
Hydraulisch wirksame Einheiten	C1															
Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein	C2															
Fließ- und Speicherparameter	C3															
Zwei-Phasenfluss-Parameter	C4															
Hydrochemie																
Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)	D1															
Porenwasserchemismus	D2															
Transporteigenschaften	D3															
Kolloide usw.	D4															
			Erkundungsaktivität													
			Erkundungsaktivität ohne eine Bewertung bzgl. der Qualitäts- bzw. Quantitätskategorien													

Erkundungsaktivität

Erkundungsaktivität ohne eine Bewertung bzgl. der Qualitäts- bzw. Quantitätskategorien

Standort:	Mol-Dessel (Belgien)
Name - Typ:	URF Hades (High Activity Disposal Experimental Site) - URL
Lage:	unmittelbar unter dem SCK/CEN-Kernforschungszentrum, in der Nähe der Kleinstadt Mol in der Provinz Antwerpen, ca. 75 km im NE von Brüssel
Betreiber:	Economic Interest Grouping EURIDICE (European Underground Research Infrastructure for Disposal of radioactive waste In a Clay Environment): <ul style="list-style-type: none"> • SCK•CEN (Belgian Nuclear Research Centre) • ONDRAF/NIRAS (National agency for radioactive waste and enriched fissile materials)
Fläche:	ca. 10.000 m ² untersuchte Fläche: 200 m lange Verbindungsstrecke mit quer dazu angeordneter PRACLAY-Strecke (30 m lang, Ø ≈ 2 m) sowie ca. 10 m langer Blindschacht, am Ende der Blindstrecke aus Schacht 1, zusätzlich von den Strecken ausgehende Erkundungsbohrungen
Erschließung/Teufenlage:	2 im zeitlichen Abstand von 15 Jahren niedergebrachte Schächte mit einer rund 200 m langen Verbindungsstrecke / 230 m unter Geländeoberkante
Geologie:	<p>Das URL liegt in der tertiären Boom Clay-Formation im belgischen Rupel-Gebiet, der im unteren Oligozän abgelagert wurde und am Standort eine Mächtigkeit von ca. 70 m aufweist. Sie ist stratigraphisch äquivalent zu den Lintfort-Schichten in der Niederrheinischen Bucht, dem Rupel Clay in den Niederlanden, dem Rupelton in Norddeutschland und dem Septarienton in Ostdeutschland.</p> <p>Die Tonformation wird am URL-Standort von ca. 190 m grundwasserführenden Lockergesteinen überlagert.</p> <p>Der Boom Clay gehört zu den plastischen Tonen und zeichnet sich mineralogisch und geochemisch durch seine große Homogenität aus. Lithologische Variationen in Korngröße, organischem Gehalt und Karbonatanteil spiegeln Veränderungen der lokalen und klimatischen Sedimentationsbedingungen sowie Meeresspiegelschwankungen wider.</p>
Historie:	<p>1980 - 1982 Niederbringen des 1. Schachtes („Gefrierverfahren“)</p> <p>1982 - 1984 1. Nutzungsphase als URL-Hades mit Niederbringen des sogenannten Untersuchungsschachtes (Blindschacht; Ø ≈ 1,4 m) zur Bestimmung des Gebirgsverhaltens bei Verzicht auf das Gefrierverfahren</p> <p>1987 Auffahrung des Versuchsstollens (Blindstrecke)</p> <p>1997 Niederbringen des 2. Schachtes (nach Erreichen des Boom Clays: Auffahrung mit Teilschnittmaschine)</p> <p>2001 - 2001 Verbindungsstollen („Connecting Gallery“) zwischen den Schächten (Ausbau mit Zementformsteinen) - CLIPEX und SELFRAC-Experimente</p> <p>2007 PRACLAY - Teststollen - kombinierter Großversuch mit Installation von zwei Erhitzern („Large Scale Heater Test“), Verfüll- und Verschlussmaßnahmen („Plug-Test“) sowie Untersuchungen zur EDZ („Gallery & Crossing Test“)</p>
Literatur	<p>http://www.euridice.be</p> <p>Bernier, F., Demarche, M. & Bel, J. "The Belgian Demonstration Programme for the Disposal of High-Level and Long-Lived Radioactive Waste" MRS05 - 29th Symposium on the Scientific Basis for Nuclear Waste Management, September 12-16, 2005.</p>

Mol, Belgien

Die untersuchte Fläche am URL beträgt ca. 10.000 m²

INFO:

Methodische Erkundung einer Endlagerlösung einschließlich Langzeitmanagement von hochradioaktivem und langlebigem Abfall (verglast, abgebrannte Brennelemente). Durchführung unter Projektleitung durch ONDRAF/NIRAS. Ziel ist die nichtrückholbare, tiefe Endlagerung von konditioniertem Abfall der Kategorie B und C in einer schwach verfestigten Tonformation (B = schwach wärmeproduzierend, langlebig $t_{1/2} > 30$ a; C = mittel bis stark wärmeproduzierend, langlebig). Die Erkundung erfolgt seit 1974 mit Fokus auf tiefliegende Tonformationen. Die anfängliche parallele Erkundung von sowohl verfestigten, paläozoischen Tongesteinsformationen (Tonschiefer des Kambrium-Silurs des Brabanter Massivs und der Ardennen) als auch schwach verfestigten, plastischen Tonformationen des Känozoikums (z.B. Ypresischer Ton und Boom-Ton) fokussierte sich später auf letztere, da diese besser zugänglich waren (Status als: „nuclear zone“), sich in Vorversuchen als vielversprechend erwiesen und bereits eine gute wissenschaftliche Infrastruktur vor Ort besaßen. Die Auswahl der entsprechenden Versuchsstandorte (Mol-Dessel für „Boom-Clay“ und Doel für „Ypresian Clay“) erfolgte aus historischen, institutionellen und praktischen Gründen (ONDRAF/NIRAS, 2001, S. 39). Unter Mol im Mol-Dessel-Gebiet, welches als Referenzstandort intensiv erkundet wird, befindet sich in ca. 240 m Tiefe die untertägige Forschungseinrichtung „HADES“. Für 2006 ist der Ausbau eines 30 m langen Schachtes als Testversion des Endlagerausbaus geplant, in dem über 5 Jahre das Aufheizen simuliert werden soll (PRACLAY-Experiment) (ONDRAF/NIRAS, 2001, S. 91). Der Standort Doel dient lediglich als Alternativstandort. Die hier geschilderten Ergebnisse entsprechen dem Stand der Forschungen von 2000. Der „Boom Clay“ ist auch außerhalb der Endlagerforschung Ziel intensiver Grundlagen- und angewandter Forschung. Die Erkundung erfolgt anhand von Aufschlüssen (Tongruben bei Rupel und Waasland) oder beim Tunnelbau (Antwerpen- und Rupeltunnel), durch geophysikalische Bohrlochmessungen, übertägige Reflexionsseismik und Beprobung von Kernmaterial (2 Bohrungen bis 613 bzw. 572 m Tiefe). Der Boom Clay (Rupel) ist ein schluffiger Ton bzw. toniger Schluff mit charakteristischen und sehr durchgängigen Pyrit- und Glaukonitlagen, einigen organischen und mergeligen Lagen mit typischen Kalkkonkretionen (Septarien). Basis und Top der Boom-Formation sind wesentlich schluffiger ausgebildet und leiten zu sandigen Lagen im Hangenden und Liegenden über. Die Ausbisszone erstreckt sich als 5 bis 15 km breiter Gürtel im SW. Von hier aus nimmt die Mächtigkeit der Formation von 30 m bis auf über 150 m im NE zu, während die Mächtigkeit der reinen Tonlagen Richtung E abnimmt. Es besteht ein generelles Einfallen von 1 - 2% nach NE, wodurch die Basis auf eine Tiefe von 400 m (TAW) absinkt (Tiefe der Basis in Mol-Dessel: 190 - 290 m). Regional befindet sich das Mol-Dessel-Gebiet im Campine-Sedimentbecken, im NE von Belgien. Dieses ist im NE von NNW-SSE-Störungen des Roermondgrabens durchzogen (aktiver Riftgraben, Subsidenzraten: 0,25 - 0,5 mm pro Jahr). Tektonische Aktivität ist bis zu 5 - 7 km östlich von Mol-Dessel an der Oberfläche in Form von Störungen zu beobachten (Poppel- und Rauw-Störungen, vertikaler Versatz 10 - 20 cm); stärkstes registriertes Erdbeben 1992 (5,8 Richterskala, VII MSK). (ONDRAF/NIRAS, 2001).

Prinzipien für die Standortwahl (ONDRAF/NIRAS, 2001):

- Konzentration und Einschließen der Radionuklide durch mehrere Barrieren zwischen dem Abfall und der Biosphäre, wobei das Wirtsgestein ebenfalls eine natürliche Barrierewirkung aufweisen sollte
- entsprechende Mächtigkeit des Boom-Clays, um ein Endlager in mind. 200 m und maximal 300 m Tiefe zu errichten, was der Mitte des Wirtsgesteins entsprechen soll (S. 170 CD)
- Mindestmächtigkeit von 60 m massivem Ton
- gute Homogenität dieses 60 m mächtigen Tonbereichs
- Übersicht aller Eigenschaften des Boom-Clays, die für eine Eignung als Wirtsgestein sprechen (ONDRAF/NIRAS, 2001, S. 214 - 215)

Fokus der Forschungen auf (ONDRAF/NIRAS, 2001):

- lithologische Heterogenitäten des Wirtsgesteins
- tektonische Strukturen (Störungen etc.)
- besseres Verständnis und Modellierung der regionalen und lokalen Hydrogeologie über und unterhalb des Boom-Clays

Eine Fläche von ca. 60 km² (Boom-Clay) wurde untersucht. Die tatsächliche Fläche der Forschungseinrichtung beläuft sich auf insgesamt 1,3 km², wovon 0,224 km² für verglasten Abfall vorgesehen sind.

A Regionale Geologie (20 km x 20 km)

A1 Wirtsgestein/Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)

A1.1 Fernerkundung

A1.2 Geophysik (übertägig)

Seismik:

Die Erkundung erfolgte von 1978 bis 1996 in mehreren Messkampagnen, wobei die jeweils älteren Profile wieder aufgearbeitet oder entsprechend dem aktuellen Stand der Technik erneut gemessen wurden. Eine Übersicht der Profile wird mit Abb. S. 1.301 (ONDRAF/NIRAS, 2001b) bzw. S. 41 (ONDRAF/NIRAS, 2001a) gegeben.

Im Zuge der seismischen Erkundung des Mol-Dessel-Gebietes (ca. 8 x 7 km) vor 1990 erfolgten zunächst 2 Testläufe (TEST 1 und 2). Anschließend wurde 1978 mittels einer speziellen Messanordnung (3D-78) eine Fläche von ca. 1,5 x 5 km im Süden des Gebietes erkundet, um die Geologie zu erfassen und einen geeigneten Ort und die Tiefe für die untertägige Forschungseinrichtung (HADES) im Boom-Clay festzulegen (S. 208 ONDRAF/NIRAS, 2001b). Darauf folgten 1991 erneute Testläufe mit 2D-Profilen von 1 bis 1,5 km Länge, um die seismischen Erkundungs- und Processing-Parameter zu optimieren (91-ON-01). Dabei wurden unterschiedliche Quellen (Vibroseis und Explosiva) und unterschiedliche Anordnungen erprobt.

Da 1991 keine entsprechenden Bohrlochdaten oder ein vertikales seismisches Profil vorhanden waren, konnte keine Korrelation mit den stratigraphischen Einheiten vorgenommen werden. Aufgrund der Bebauung im Mol-Dessel-Gebiet (nuclear zone) waren keine lückenlosen hochauflösenden seismischen Messungen möglich, weshalb die anfangs geplante 3D-Seismik verworfen und stattdessen 1996 ein engräumiges Netzwerk aus 2D-Seismikprofilen entworfen wurde (96-ON) (S. 209 ONDRAF/NIRAS, 2001b). Dieses bestand aus einem Raster aus weitestgehend E-W-orientierten Linien im Abstand von ca. 500 m und 4 verbindenden Querlinien (siehe Abb. S. 1301 ONDRAF/NIRAS (2001b) bzw. S. 41 ONDRAF/NIRAS (2001a)). Zwei dieser E-W-Linien wurden weiter nach E ausgedehnt, mit dem Ziel, eventuell die Störungen des Roer Valley-Grabens zu erfassen. Insgesamt wurden 13 Profillinien mit einer Gesamtlänge von 64,67 km aufgenommen (S. 211 ONDRAF/NIRAS, 2001b), was eine Fläche von ca. 7 x 17 km, mit einer Kernzone von 7 x 8 km, umfasst.

Im Zuge der mehrphasigen Erkundung wurden die Aufnahmeparameter variiert. So sind z.B. die Profile der eigentlichen Erkundung von 1996 im Vergleich zum Testprofil von 1991 (91-ON-01) mit etwas anderen Parametern aufgenommen (ONDRAF/NIRAS, 2001, Vergleich siehe Tab. S. 212 und S. 213 ONDRAF/NIRAS, 2001b). Die Unterschiede liegen insbesondere in der Bandbreite des Quellsignals, in der Übertragungsfunktion der Geophone sowie im Geophongruppenabstand. Zur Vergleichbarkeit der Daten beider Kampagnen wurde das Testprofil von 1991 (91-ON-01) erneut mit den Parametern von 1996 aufgenommen (=96-ON-14). Ziel dieser vergleichenden Messungen mit unterschiedlichen Parametern (S. 213 ONDRAF/NIRAS, 2001b) war die Ermittlung der maximal möglichen Bandbreite und damit der optimalen Auflösung. Verbesserungen der Datenqualität und Auflösung wurden auch mit aktualisierten Processing-Sequenzen und -Parametern erreicht.

Um eine Korrelation mit den seismischen Oberflächenmessungen herzustellen, wurden in unmittelbarer Nähe zu einem der Querprofile von 1996 (96-ON) die Bohrungen Dessel-1 (611 m Tiefe) sowie Mol-1 (572,5 m Tiefe) bohrlochseismisch vermessen (ONDRAF/NIRAS, 2001, siehe Tab. S. 211 ONDRAF/NIRAS, 2001b) bzw. siehe B1.3). Dazu wurden vertikale seismische Profile (VSP) mit P- und S-Wellen sowie Akustik (sonic) logs gemessen.

Durch die niederländische TNO (Dutch organisation for Applied Scientific Research) wurde eine Qualitätskontrolle und Interpretation der geologischen und geophysikalischen Daten, einschließlich der Seismikdaten des 91-ON-01-Testprofils (s.o.) sowie numerische Modellierungen durchgeführt. Dies beinhaltete auch eine detaillierte Reinterpretation der seismischen Testprofile von 1991 (91-ON-01) mit Hilfe von vertikalen seismischen Profilen (VSP) und synthetischen Seismogrammen. Die 1D-akustische und 2D-elastische Modellierung zeigten, dass der Effekt multipler Reflexionen vernachlässigbar klein ist. Als weiteres Ergebnis konnte festgestellt werden, dass die seismische Erkennung von Septarien (Kalkkonkretionen) nicht möglich ist.

Die Interpretation der seismischen Daten als Kombination von Bohrlochdaten und seismischen Oberflächenmessungen erfolgte mit dem Ziel, eine flächenhafte Darstellung der Schichtenausbildung hinsichtlich Tiefe und Mächtigkeit zu erhalten und die Festlegung von Horizonten durchzuführen. Mit Hilfe der Seismik wird der geologische Untergrund hinsichtlich der Geometrie des Wirtsgesteins und des benachbarten Rahmengesteins erkundet und der Heterogenitätsgrad der interessierenden Schichten festgestellt (S. 229 ONDRAF/NIRAS, 2001b). Um den geologischen Untergrund modellieren zu können, werden seismische Messungen, Bohrlochmessungen, Bohrlochdaten und Laborversuche kombiniert (S. 424 ONDRAF/NIRAS, 2001b).

Die durchgeführten seismischen Erkundungen ermöglichen eine Zonierung, deren Grenzen als starke Reflektoren in der seismischen Abbildung auftreten und die mit charakteristischen lithologischen Horizonten korrelieren. Nach bisherigen Erkenntnissen kann eine vertikale und horizontale Auflösung von mehreren Metern erreicht werden. Top und Basis des Wirtsgesteins sind jedoch reflexionsseismisch nicht klar festlegbar, da die Schichten (tonreiche Sande, Schluffe) im Hangenden und Liegenden keine ausreichend großen Impedanzunterschiede aufweisen (S. 229 ONDRAF/NIRAS, 2001b). Die Ergebnisse der 96-ON-Kampagne erlauben eine Auflösung von wenigen Metern (horizontal und vertikal), die HADES-URF (underground research facility) ist im Seismogramm erkennbar. Je nach Processing lagen die Unsicherheiten in der Tiefe von Top und Basis des Wirtsgesteins bei ± 25 m (S. 229 ONDRAF/NIRAS, 2001b). Generell wird angemerkt, dass zur korrekten Interpretation seismischer Daten gute bohrlochseismische Daten (VSP oder synthetische Seismogramme) entlang der seismischen Profillinien unerlässlich sind (S. 229 ONDRAF/NIRAS, 2001b). Die Ergebnisse weisen die Erkundungsmethode von 1996 als sehr geeignet aus, um die komplette Kartierung der Tiefe und Mächtigkeit des Tertiärs zu erfassen (S. 234 ONDRAF/NIRAS, 2001b). Hochauflösende oberflächengeophysikalische Kampagnen und Bohrlochmessungen haben signifikant zur detaillierten Beschreibung der Heterogenitäten und Diskontinuitäten des Wirtsgesteins beigetragen (Bsp. siehe S. 1.308/1.309 ONDRAF/NIRAS, 2001b). Eine umfassende Interpretation aller Daten stand bis dato, 2001, noch aus (S. 1.065 ONDRAF/NIRAS, 2001b). Die seismischen Daten dienen zusammen mit den Ergebnissen der 2 tiefen Bohrungen (Mol-1, Dessel-1) als Datenbasis für die Ausweisung des unterirdischen Forschungsstandortes HADES (S. 297 ONDRAF/NIRAS, 2001b).

Es zeigte sich, dass die hochauflösenden geophysikalischen Methoden der Erdölexploration an die speziellen Bedürfnisse der Untersuchung von schwach verfestigtem, tonigem Wirtsgestein angepasst werden können, um dessen Geometrie und Lithologie abzubilden (S. 1.178 ONDRAF/NIRAS, 2001b).

Qualität: 2 Quantität: 2

Beide Bewertungen sollten eher den Wert 2 - 3 erhalten, da der Ansatz in Richtung einer 3D-Messung geht, diese aber durch die vorhandene Bebauung nicht vollständig realisiert werden konnte.

A1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Mit dem Ziel der flächenhaften Darstellung der Schichtenausbildung (Tiefe, Mächtigkeit) und der Kartierung von Störungen (Zunahme der Schichtdicken) erfolgte die Korrelation mehrerer Bohrlochmessungen, wobei u.a. die Parameter Gamma-Ray (API) und elektrischer Widerstand verwendet wurden (S. 1.306 ONDRAF/NIRAS, 2001b). Die Tiefen für unterschiedliche Schichten wurden kalkuliert und als Isopachenkarte dargestellt.

Bei einem Versuch mit 17 Bohrlöchern auf einer Fläche von 20 x 20 km (TNO) konnten lediglich Hinweise auf die Lage von Störungen festgestellt werden. Ein zweiter Versuch mit mehreren hundert Bohrlöchern auf einer Fläche so groß wie das Ruhrgebiet (Institut für Historische Geologie der Universität Leuven) ermöglichte die erfolgreiche Kartierung von Störungen (S. 233, ONDRAF/NIRAS, 2001b).

Im Falle der Ypresian-Clays als alternativem Wirtsgestein zum Boom-Clay konnten durch Auswaschungen und Hohlraumbildung im Bohrloch bei den Bohrlochmessungen oftmals keine optimalen Messbedingungen erreicht werden (S. 299 ONDRAF/NIRAS, 2001b). Es wird vermutet, dass die hohe Plastizität der Tone Ursache dafür sein könnte (S. 138 ONDRAF/NIRAS, 2001a). Geplante Messungen: CBL-VDL, PEX, FMI, CMR, DIL, MSFL, AS, GR (Gamma-Ray), SN, LN, SP, HALS-PEX, HNGS, DSI, LSD, HRD, ILD, ILM, LSD, F-W-Sonic (S. 1.347 ONDRAF/NIRAS, 2001b).

Qualität: 3 Quantität: 2

A1.4 Geol. Kartierung**A1.5 Bohrungen**

Von Dessel-1 und 2 von 4 regionalen hydrogeologischen Bohrungen (Zoersel, Rijkevosel, Weelde, Turnhout) wurden Kerne genommen.

ONDRAF/NIRAS (2001a)

Qualität: 3 Quantität: 1

Für die Schlagbohrungen:

Qualität: 2 Quantität: 1

A1.6 Feldmessungen - Geohydraulik**A1.7 Feldmessungen - Geochemie****A1.8 Feldmessungen - Geomechanik****A1.9 Labor****A1.10 Untertage Geophysik****A1.11 Untertage geol. Kartierung****A1.12 Untertage Bohrungen****A1.13 Untertage In-situ-Messungen****A1.14 Untertage Labor****A2 Stratigraphie****A2.1 Fernerkundung****A2.2 Geophysik (übertägig)**

Seismik:

Methode (1996) siehe A.1.2

Die Methode der Korrelation von Reflexionsseismik mit seismischen Bohrlochmessungen konnte erfolgreich zur Festlegung von Horizonten eingesetzt werden. Die so definierten Horizonte stimmen z.T. mit der stratigraphischen Gliederung aus Aufschlüssen und Bohrkernen überein. Mehrere Reflektorhorizonte können charakteristischen Schichten des Boom-Clays („Übergangszone“, „Doppelband“ (Sandlagen), „Basis Terhagen Member“ (= Sandlage + Septarien)) zugeordnet werden.

ONDRAF/NIRAS (2001)

Qualität: 2 Quantität: 2

A2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Mit hoch auflösenden Messungen des elektrischen Widerstandes (siehe B1.3) sind Aussagen zur stratigraphischen Gliederung möglich. Zur Korrelation der seismischen Oberflächenerkundung von 1996 (siehe A1.2) hinsichtlich der Stratigraphie diente v.a. VSP (Vertical Seismic Profiling, P- und S-Wellen, akustische Impedanz) der 2 Bohrungen Mol-1 und Dessel-1 (siehe A1.2).

ONDRAF/NIRAS (2001)

Qualität: 3 Quantität: 2

A2.4 Geol. Kartierung**A2.5 Bohrungen**

Von Dessel-1 und 2 von 4 regionalen hydrogeologischen Bohrungen (Zoersel, Rijkevosel, Weelde, Turnhout) wurden Kerne genommen.

ONDRAF/NIRAS (2001a)

Qualität: 3 Quantität: 1

Für die Schlagbohrungen:

Qualität: 2 Quantität: 1

A2.6 Feldmessungen - Geohydraulik**A2.7 Feldmessungen - Geochemie****A2.8 Feldmessungen - Geomechanik****A2.9 Labor****A2.10 Untertage Geophysik****A2.11 Untertage geol. Kartierung****A2.12 Untertage Bohrungen****A2.13 Untertage In-situ-Messungen****A2.14 Untertage Labor****A3 Strukturgeologie und Tektonik****A3.1 Fernerkundung**

Zusammen mit der geophysikalischer Erkundung (Elektromagnetik, elektrische Tomographie, elektrische Sondierungen, Bohrungen) (S. 1.212 ONDRAF/NIRAS, 2001b) sollen es topographische Analysen und Luftbildinterpretation ermöglichen, die genaue Lage der Störungen (Poppel- und Rauw-Störungen) zu bestimmen und so die seismische Gefahr des Forschungsstandortes durch die benachbarten Störungen festlegen zu können, insbesondere ob diese bis an die Oberfläche reichen. Wenn dies gelingt, wird der Versuch unternommen, diese anhand eines künstlich angelegten Grabens durch direkte Beobachtung weiter zu erkunden (S. 215 ONDRAF/NIRAS (2001b)). Bisher beobachtete Strukturen in Luftbild- und Satellitenaufnahmen deuten auf Störungen mit geringem Versatz hin, die nicht durch seismische Erkundungen detektiert werden können und somit durch andere Methoden bestätigt werden müssen (S. 1.211 ONDRAF/NIRAS, 2001b).

Qualität: ? Quantität: ?

A3.2 Geophysik (übertägig)Seismik:

Neben dem Festlegen der generellen geologischen Charakteristika des Untersuchungsgebietes erfolgen seismische Erkundungen zur Festlegung der tektonischen Ereignisse wie Faltungsphasen oder vertikale Versätze von mehreren Metern. Im Rahmen der 2D-Erkundung 1996 (siehe A1.2) wurden 2 E-W-Profile (je ca. 12 km Länge) nach E ausgedehnt, um die Störungen des Roermond-Grabens zu erfassen. Die generelle Kartierung von Störungen, einschließlich der das Tertiär durchschlagenden, ist mit der unter A1.2 erläuterten 2D-Seismik von 1996 möglich (S. 234 ONDRAF/NIRAS, 2001b). Aus der Kombination von Bohrloch- und Oberflächenseismik sollten bei entsprechendem Processing (siehe A1.2, Tabelle rechts) Störungen mit einem Versatz > 5 m auflösbar sein.

Die intensive Erforschung des "Feldbiss"-Störungssystems, welches vor allem 30 km östlich von Mol am NE-Rand des Campine-Plateaus aufgeschlossen ist, erfolgte im Rahmen einer hochauflösenden Reflexionsseismik-Kampagne 1999 (Bree-99). Dieses Störungssystem ist geomorphologisch als Geländeabbruch über Zehnerkilometer verfolgbar (vertikaler Versatz von 0,5 bis 3 m) und somit als aktive

Störung zu bewerten (S. 215 ONDRAF/NIRAS, 2001b). Ergebnisse der Seismik-Kampagne standen 2001 noch aus.

Im Falle des Ypresian-Clays als alternative Wirtsgesteins-Formation zum Boom-Clay wurden die reflexionsseismischen Untersuchungen auf die Nordsee ausgedehnt; sie zeigten extensive Störungsstrukturen innerhalb der Wirtsgesteins-Formation.

ONDRAF/NIRAS (2001)

Qualität: 2 Quantität: 2

A3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Bei der Korrelation mehrerer Bohrlöcher kann über die Zunahme von Schichtdicken auf die Lage von Störungen geschlossen werden (siehe A1.3).

ONDRAF/NIRAS (2001)

Qualität: 3 Quantität: 2

A3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A3.4 Geol. Kartierung

A3.5 Bohrungen

A3.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A3.7 Feldmessungen - Geochemie

A3.8 Feldmessungen - Geomechanik

A3.9 Labor

A3.10 Untertage Geophysik

A3.11 Untertage geol. Kartierung

A3.12 Untertage Bohrungen

A3.13 Untertage In-situ-Messungen

A3.14 Untertage Labor

A4 Regionales Spannungsfeld

A4.1 Fernerkundung

A4.2 Geophysik (übertägig)

A4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A4.4 Geol. Kartierung

A4.5 Bohrungen

A4.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A4.7 Feldmessungen - Geochemie

A4.8 Feldmessungen - Geomechanik

A4.9 Labor

A4.10 Untertage Geophysik

A4.11 Untertage geol. Kartierung

A4.12 Untertage Bohrungen

A4.13 Untertage In-situ-Messungen

A4.14 Untertage Labor

A5 Temperatur und Wärmeleitfähigkeit

A5.1 Fernerkundung

A5.2 Geophysik (übertägig)

A5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A5.4 Geol. Kartierung

A5.5 Bohrungen

A5.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A5.7 Feldmessungen - Geochemie

A5.8 Feldmessungen - Geomechanik

A5.9 Labor

A5.10 Untertage Geophysik

A5.11 Untertage geol. Kartierung

A5.12 Untertage Bohrungen

A5.13 Untertage In-situ-Messungen

A5.14 Untertage Labor

A6 Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z. B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)

A6.1 Fernerkundung

A6.2 Geophysik (übertägig)

A6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A6.4 Geol. Kartierung

A6.5 Bohrungen

A6.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A6.7 Feldmessungen - Geochemie

A6.8 Feldmessungen - Geomechanik

A6.9 Labor

A6.10 Untertage Geophysik

A6.11 Untertage geol. Kartierung

A6.12 Untertage Bohrungen

A6.13 Untertage In-situ-Messungen

A6.14 Untertage Labor

A7 Rohstoffvorkommen

A7.1 Fernerkundung

A7.2 Geophysik (übertägig)

A7.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A7.4 Geol. Kartierung

A7.5 Bohrungen

A7.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A7.7 Feldmessungen - Geochemie

A7.8 Feldmessungen - Geomechanik**A7.9 Labor****A7.10 Untertage Geophysik****A7.11 Untertage geol. Kartierung****A7.12 Untertage Bohrungen****A7.13 Untertage In-situ-Messungen****A7.14 Untertage Labor****B Eigenschaften des Wirtsgesteins und des Deckgebirges am Standort****B1 Lithologie/Stratigraphie****B1.1 Fernerkundung****B1.2 Geophysik (übertägig)**

Generell wurden zur Erkundung der Lithologie sowie der Struktur von Wirts- und Rahmengestein Reflexionsseismik an der Oberfläche und Bohrlochmessverfahren angewandt, welche mit Labortests an Kernmaterial und Informationen aus Untersuchungen an übertägigen Aufschlüssen (Tongruben im 5 bis 15 km breiten Ausbissgürtel) oder beim Tunnelbau ergänzt wurden.

ONDRAF/NIRAS (2001)

Seismik:

Siehe A1.2

Qualität: 2 Quantität: 2

B1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Hinsichtlich der Lithologie wurden vor allem die hochauflösenden Bohrlochmessungen der Bohrungen Dessel-1 (1993, 611 m Tiefe) und Mol-1 (572,5 m Tiefe) ausgewertet (siehe Tab. S. 211 ONDRAF/NIRAS, 2001b) bzw. Tab. unten). Eines der übergeordneten Ziele ist die Erfassung der vertikalen Heterogenität der einzelnen Schichten durch kontinuierliche Messwerte, wobei sich geophysikalische Bohrlochmessverfahren als das ideale Werkzeug erweisen (S. 230 ONDRAF/NIRAS, 2001b).

	DESSEL-1		MOL-1	
	initial depth	final depth	initial depth	final depth
Borehole		613.5		572.5
Cores			150.2	331.8
GR(H)NGS	61	610	57	571
MSFL/AIT	61	610	57	571
LDL/CNL	61	611	57	571
DSI P & S	61	606	57	560
FMI	61	610	120	334
CBL	10	593	0	561
MDT: interval	134.5	369	138	260
MDT: type	24 single probe tests		6 single probe, 1 dual packer	
VSP: interval	20	605	22.5	567
VSP: type	CSI 2 tool array P & S		dual CSAT	
VSP: source	Vakimpak weight drop		20 IN ³ bolt airgun	
CMR			59	571

Gemessen wurden:

- MSFL/AIT (Array Induction Imager Tool, Induktion bei unterschiedlichen Eindringtiefen)
- FMI (Fullbore Formation MicroImager, hochaufgelöster elektrischer Widerstand)
- DSI (Dipole Shear Sonic Imager Tool, akustische Eigenschaften, Schallgeschwindigkeit)
- VSP (P- und S-Wellen, akustische Impedanz)
- MDT (Single Probe Modular Formation Dynamics Tester, Berechnung der In-situ-Permeabilitäten)
- GR/(H)NGS (Gamma-Ray, natürliche Hintergrundstrahlung)
- LDL/CNL (Widerstand)
- CBL (akustische Messungen, um Verfestigung der Verrohrung zu ermitteln)
- CMR (magnetische Resonanz)

FMI:

Mit FMI, welcher eine Auflösung von wenigen cm ermöglicht (S. 230 ONDRAF/NIRAS, 2001b), sind die Korngrößenänderungen (Ton/Schluff/Sand) und die für den Boom-Clay charakteristischen Septarienhorizonte (brotlaibgroße Karbonatkonkretionen) perfekt erfassbar. Mittels FMI erfasste Ton- und Sandlagen können sogar stratigraphisch mit denen eines 50 km entfernten, überflügten Aufschlusses (Tongrube) korreliert werden. Der Hauptteil des Boom-Clays wird hier aufgrund der geophysikalischen Untersuchungen (Widerstandsmessungen) als homogen bewertet, da nur die Lagen im Hangenden und Liegenden geophysikalische Unterschiede zum restlichen Bohrprofil aufweisen (S. 44 ONDRAF/NIRAS, 2001a). Es wird angemerkt, dass bei Aussagen zur lithologischen Gliederung je nach Verwendung von alleinigen konventionellen Widerstandsmessungen oder in Kombination mit magnetischen Resonanzmessungen etwas unterschiedliche Ergebnisse erzielt wurden (größere Mächtigkeit der als tonreich angesehenen Wirtsgesteinsformation bei magnetischer Resonanzmessung) (S. 623 ONDRAF/NIRAS, 2001b).

ONDRAF/NIRAS (2001)

GR/(H)NGS:

Die Messung der natürlichen Radioaktivität GR/(H)NGS erfolgte mit dem Zweck, die Heterogenität des Tons (Wirtsgesteins) zu erkunden. Außerdem ist durch den Vergleich zwischen natürlicher und durch eine mögliche Einlagerung induzierter Radioaktivität ein Sicherheitsindikator für die Überwachung der Langzeitsicherheit gegeben (S. 216 ONDRAF/NIRAS, 2001b). Beim Szenario des Durchbrechens der Barrieren oder des Anbohrens des Endlagers könnte durch rechtzeitiges Erkennen sehr hoher Radioaktivitäten durch Gamma-Messungen parallel zum Bohrvorgang oder unmittelbar anschließenden Bohrlochmessungen das Risiko von Strahlenexpositionen durch das Arbeiten mit Kernmaterial im Vorfeld minimiert werden (S. 863 ONDRAF/NIRAS, 2001b).

Zukünftige Pläne sehen die indirekte Korrelation von seismischen Daten und Lithologie durch ein „integriertes multidimensionales petro-akustisches Modell“ vor. Seismische Attribute (z.B. akustische Impedanz oder AVO (Amplitude vs. Offset)-Parameter werden mit petrophysikalischen und Bohrlochmessungen korreliert, um quantitative Gesteinsparameter wie z.B. Gehalt an Sand, Schluff und Ton, Fluidsättigung etc. entlang eines seismischen Profils zu berechnen).

ONDRAF/NIRAS (2001b)

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.4 Geol. Kartierung

B1.5 Bohrungen

Die Bohrung Mol-1 wurde durch den Boom Clay am Standort des URL bis 332 m gekernt.

ONDRAF/NIRAS (2001a, b)

Qualität: 3 Quantität: 3

Die Gruppe von 6 SCK-15 Bohrungen wurde zu verschiedenen Zwecken einschließlich Geologie und Hydrogeologie in der nuklearen Zone in der Nähe des URL abgeteuft.

Qualität: 2 - es ist nicht bekannt, in welchem Umfang gekernt wurde

Quantität: 1

B1.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B1.7 Feldmessungen - Geochemie****B1.8 Feldmessungen - Geomechanik****B1.9 Labor****B1.10 Untertage Geophysik****B1.11 Untertage geol. Kartierung****B1.12 Untertage Bohrungen****B1.13 Untertage In-situ-Messungen****B1.14 Untertage Labor****B2 Geometrie****B2.1 Fernerkundung****B2.2 Geophysik (übertägig)**Seismik:

Siehe A1.2

Top und Basis der Wirtsgesteinsformation (Boom-Clay = schluffiger bis sandiger Ton) konnten reflexionsseismisch nicht erfasst werden, da das unmittelbare Rahmengestein ebenfalls aus sandig-tonigen Lagen besteht (S. 50 ONDRAF/NIRAS, 2001a).

Qualität: 1 Quantität: 2

Die Bewertung mit Qualität 1 ergab sich aus dem Ergebnis, dass die Abgrenzung des Wirtsgesteins an Top und Basis nicht möglich war.

B2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Siehe B1.3

Übergeordnetes Ziel sind die Festlegung von Top- und Basisflächen des Wirtsgesteins (fester Ton) sowie detailgenaues Erkunden der Geologie und Struktur des Wirtsgesteins.

ONDRAF/NIRAS (2001)

Qualität: 3 Quantität: 2

B2.4 Geol. Kartierung**B2.5 Bohrungen**

Die Bohrung Mol-1 wurde durch den Boom-Clay am Standort des URL bis 332 m gekernt.

ONDRAF/NIRAS (2001a, b)

Qualität: 3 Quantität: 3

Die Gruppe von 6 SCK-15 Bohrungen wurden zu verschiedenen Zwecken einschließlich Geologie und Hydrogeologie in der nuklearen Zone in der Nähe des URL gebohrt.

Qualität: 2 - es ist nicht bekannt, im welchen Umfang gekernt wurde

Quantität: 1

B2.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B2.7 Feldmessungen - Geochemie****B2.8 Feldmessungen - Geomechanik****B2.9 Labor**

B2.10 Untertage Geophysik**B2.11 Untertage geol. Kartierung****B2.12 Untertage Bohrungen****B2.13 Untertage In-situ-Messungen****B2.14 Untertage Labor****B3 Makro-Struktur****B3.1 Fernerkundung****B3.2 Geophysik (übertägig)**Seismik:

Siehe A1.2

Durch hoch auflösende 2D-Reflexionsseismik 1996 (siehe A1.2) sollten Flexuren und Verwerfungen im Untergrund des Mol-Dessel-Gebietes lokalisiert werden (S.49 ONDRAF/NIRAS, 2001a). Nach bisherigen Erkenntnissen kann eine vertikale und horizontale Auflösung von mehreren Meter erreicht werden, wodurch Störungen mit einem Versatz > 5 m detektierbar wären. Bisher konnten diverse Flexuren erkannt werden. Z.T. wurden ältere seismische Profile einer Messkampagne von 1978 wieder aufbereitet. Nach den Ergebnissen von 2001 konnten alle seismischen Kampagnen im Mol-Dessel-Gebiet (siehe A1.2) im Rahmen des Auflösungsvermögens keine Störungen im Wirtsgestein in unmittelbarer Nähe des Standortes feststellen (S. 997 ONDRAF/NIRAS, 2001b). Die Erkundung mit hochauflösender Reflexionsseismik ermöglicht generell die Detektion von Störungen, die Bestimmung des Versatzes und die Untersuchung, ob die Störungen das Wirtsgestein durchschneiden. Die Frage, ob Störungen bis an die Oberfläche reichen, kann mit der hier gewählten Messanordnung jedoch nicht geklärt werden, da die Auflösung in den obersten 10 m stark abnimmt (S.1.211 ONDRAF/NIRAS, 2001b).

ONDRAF/NIRAS (2001)

Qualität: 2 Quantität: 2

B3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**B3.4 Geol. Kartierung****B3.5 Bohrungen****B3.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B3.7 Feldmessungen - Geochemie****B3.8 Feldmessungen - Geomechanik****B3.9 Labor****B3.10 Untertage Geophysik****B3.11 Untertage geol. Kartierung****B3.12 Untertage Bohrungen****B3.13 Untertage In-situ-Messungen****B3.14 Untertage Labor****B4 Mikro-Struktur****B4.1 Fernerkundung****B4.2 Geophysik (übertägig)****B4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B4.4 Geol. Kartierung****B4.5 Bohrungen**

B4.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B4.7 Feldmessungen - Geochemie****B4.8 Feldmessungen - Geomechanik****B4.9 Labor****B4.10 Untertage Geophysik****B4.11 Untertage geol. Kartierung****B4.12 Untertage Bohrungen****B4.13 Untertage In-situ-Messungen****B4.14 Untertage Labor****B5 In-situ-Spannungsverhältnisse****B5.1 Fernerkundung****B5.2 Geophysik (übertägig)****B5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B5.4 Geol. Kartierung****B5.5 Bohrungen****B5.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B5.7 Feldmessungen - Geochemie****B5.8 Feldmessungen - Geomechanik****B5.9 Labor****B5.10 Untertage Geophysik****B5.11 Untertage geol. Kartierung****B5.12 Untertage Bohrungen****B5.13 Untertage In-situ-Messungen**

Die Bestimmung des Grundspannungszustandes am Standort des URL war insbesondere für die Konstruktion des URL in einer Teufe von ca. 230 m infolge der hohen Plastizität des Tons ein wichtiger Gesichtspunkt. Bei der Auffahrung des Endlagers wurde vom vollen Teufendruck in Höhe von 4,5 MPa und einem K_0 -Wert von 0,6 ausgegangen. Aufgrund der langjährigen Erfahrungen werden für den technischen Ausbau ein reduzierter Gebirgsdruck von 3,5 MPa und ein K_0 -Wert von 0,9 angenommen (BERNIER et al., 2000). Unabhängig davon gibt es aber infolge der plastischen Eigenschaften des Tons keine belastbaren Messergebnisse.

Qualität: 1 Quantität: 1

B5.14 Untertage Labor**B6 Mineralogie****B6.1 Fernerkundung****B6.2 Geophysik (übertägig)**

B6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Siehe B1.3

Um Probenmaterial zur Aufnahme eines detaillierten Profils der natürlichen Radionuklid-Zusammensetzung der einzelnen Schichten (Referenzprofil Mol-1, Gamma-/Massenspektrometrie an Probenmaterial) zu erhalten, wurden Proben u.a. anhand von Anomalien der Widerstands- und Gammawerte von Bohrlochmessungen und totalen Aktivitäten ausgewählt (S. 226 ONDRAF/NIRAS, 2001b).

Es wurden Versuche unternommen, mit Hilfe von Bohrlochmessungen die kontinuierliche Mineralogie des Bohrloches zu berechnen. Dazu wurde mittels 'Fourier Transform InfraRed analysis' (FT-IR) und XRD im Labor die mineralogische Zusammensetzung des Tons anhand von 10 Proben eines Bohrlochs (Mol-1) bestimmt. Diese wurden mit geochemischen Daten, die aus Bohrlochmessungen gewinnbar sind, korreliert und der Versuch unternommen, Umwandlungsfaktoren zu definieren, um daraus die Tonmineralogie ableiten zu können (Abb. S. 219 ONDRAF/NIRAS, 2001b). Es wurde das ELAN-Programm von SCHLUMBERGER verwandt. Dieses arbeitet über die Kombination von verschiedenen geophysikalischen Bohrlochmessungen und Kalibrierung mit punktuellen Labormessungen unter Zuweisung bestimmter physikalisch-chemischer Eigenschaften zu Mineralen oder Bestandteilen (freies Wasser, gebundenes Wasser etc.). Z.B. wirken sich Salinitätsunterschiede des Wassers in Form unterschiedlicher elektrischer Widerständen aus, wobei hier die Unterscheidung von Kapillarwasser und Totwasser aufgrund der Salinitätsunterschiede erfolgte (letzteres ist salziger, demzufolge geringerer Widerstand, S. 233 ONDRAF/NIRAS, 2001b). Die Anzahl der berechenbaren Komponenten ist limitiert durch die Anzahl der zur Verfügung stehenden geophysikalischen Messwertparameter und den zugewiesenen Eigenschaften (elektrischer Widerstand, Dichte, natürliche Radioaktivität etc.) (S. 220 ONDRAF/NIRAS, 2001b). Die Anwendung des ELAN-Programms auf die Bohrungen (Dessel-1 und Mol-1) ermöglichte die Identifizierung von 11 Komponenten. Generelles Problem ist, dass zu viele Komponenten die Verlässlichkeit der quantitativen Ergebnisse beeinträchtigen, aber das Zusammenfassen von Komponenten zu Gruppen zur Vereinfachung des Modells (z.B. zu Kaolinit/Chlorit, Illit/Glauconit) wiederum bereits Annahmen zur Mineralogie voraussetzt. Die Kalibrierung des ELAN-Modells der Bohrung Mol-1 erfolgte mit den FT-IR-Ergebnissen. Der Vergleich des ELAN-Modells mit geochemischen Analysen ergab eine Überschätzung des Anteils an Tonmineralen und eine Unterschätzung des Anteils an Nicht-Phyllosilikaten (Quarz, Pyrit, Karbonate). Im Vergleich zu punktuellen Daten bietet das Modell jedoch die Möglichkeit, ein kontinuierliches Bild der Mineralogie von durchbohrten Formationen zu erhalten und so Aussagen zur mineralogischen Heterogenität (z.B. sandige Zwischenlagen, Toneinschaltungen, Wassergehalt bzw. auch Anteil freien und gebundenen Wassers etc.) zu treffen. Durch Verwendung von Mineralgesellschaften (qualitativ und quantitativ) kann mit dem ELAN-Programm eine Lithofazies-Analyse durchgeführt werden, wobei jedoch Schichtungs- und Gefügemerkmale keine Berücksichtigung finden. Hier waren 10 verschiedene Lithofazies identifizierbar (S. 221 ONDRAF/NIRAS, 2001b).

ONDRAF/NIRAS (2001)

Auch im Falle der Ypresian-Clays als alternativem Wirtsgestein zum Boom-Clay wurde die Kombination verschiedener Bohrlochmessungen angewandt, um ein kontinuierliches Bild der mineralogischen Zusammensetzung zu erhalten (ELAN-Programm von SCHLUMBERGER). Eine petrophysikalische Analyse muss sich dabei nicht nur auf die beprobten Kernabschnitte beschränken, sondern kann bei Verwendung von FT-IR-Analysen als Referenz auch auf das gesamte Bohrloch übertragen werden. Das ELAN-Modell ermittelte die 10 Minerale: Calcit, Pyrit, Muscovit, Feldspat, Quarz, Opal, Smectit, Glauconit, Kaolinit und Illit sowie die Porosität und den Wassergehalt (gebundenes Wasser, Kapillarwasser, Porenwasser) (Abb. S.302, S. 303 ONDRAF/NIRAS, 2001b). Die FT-IR-Analysen zur Bestimmung der mineralogischen Zusammensetzung bestätigen die auch mit anderen Methoden bestimmte Sedimentologie.

ONDRAF/NIRAS (2001)

Qualität: 3 Quantität: 2

B6.4 Geol. Kartierung**B6.5 Bohrungen****B6.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B6.7 Feldmessungen - Geochemie****B6.8 Feldmessungen - Geomechanik**

B6.9 Labor

Röntgen-Diffraktionsanalyse (XRD) der Mineralogie in Kernproben der Bohrung Mol-1.

ONDRAF/NIRAS (2001a)

Qualität: ? Quantität: ?

B6.10 Untertage Geophysik**B6.11 Untertage geol. Kartierung****B6.12 Untertage Bohrungen****B6.13 Untertage In-situ-Messungen****B6.14 Untertage Labor****B7 Petrophysikalische Eigenschaften****B7a Gesteinsmechanik****B7a.1 Fernerkundung****B7a.2 Geophysik (übertägig)****B7a.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

Siehe B1.3

Gesteinsmechanische Eigenschaften, wie elastisches YOUNG-Modul E , POISSON-Zahl μ , Kompressibilität K , Kompressibilitätskoeffizient und Schermodul γ , wurden aus der Messung von Dichte sowie P- und S-Wellen aus geophysikalischen Bohrlochmessungen abgeleitet. Der Vergleich der absoluten Parameter mit geomechanischen Laborversuchen ist jedoch nicht möglich, da die Testbedingungen (in situ vs. Labor) zu unterschiedlich sind. Durch das kontinuierliche Messen im Bohrloch sind jedoch relative Aussagen möglich. So z.B. zum Heterogenitätsgrad des Tons im Hinblick auf seine geomechanischen Eigenschaften über die gesamte Schichtmächtigkeit betrachtet (S. 224 ONDRAF/NIRAS, 2001b).

Bohrlochmessverfahren und die Ermittlung geomechanischer Parameter sind ein ideales Werkzeug, um die vertikale Ausdehnung von Heterogenitäten zu erfassen (S. 233 ONDRAF/NIRAS, 2001b). Die hier ermittelte mechanische Stabilität des Tons erwies sich als relativ homogen mit größeren Unterschieden an Top und Basis.

ONDRAF/NIRAS (2001)

Qualität: 2 Quantität: 2

Qualität 2, da keine Vergleiche mit Laborergebnissen möglich waren.

B7a.4 Geol. Kartierung**B7a.5 Bohrungen**

Die Gruppe von 6 SCK-15 Bohrungen wurde in der nuklearen Zone in der Nähe des URL zu verschiedenen Zwecken einschließlich zur Bestimmung geomechanischer Eigenschaften abgeteuft.

Qualität: 2 - es ist nicht bekannt, im welchen Umfang gekernt wurde

Quantität: 1

B7a.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B7a.7 Feldmessungen - Geochemie****B7a.8 Feldmessungen - Geomechanik**

B7a.9 Labor

Auf Basis von Laboruntersuchungen mit Triaxialtests wurden bereits Ende der 80er bzw. Anfang der 90er Jahre die wesentlichen Materialparameter zur Beschreibung der mechanischen Langzeiteigenschaften (z.B. Reibungswinkel und Kohäsion) bestimmt (BARNICHON & VOLCKAERT, 2003).

Im Rahmen des SELFRAC-Vorhabens wurden aktuelle geomechanische Untersuchungen mit ein- bzw. triaxialen Festigkeits- und isotropen Kompaktionsexperimenten sowie simultaner Permeabilitätsbestimmung durchgeführt (BERNIER et al., 2007).

Basierend auf den Laborergebnissen wurden verschiedene Stoffgesetze adaptiert, i.e. CAM-Clay, visko-elasto-plastische Ansätze), die u.a. auch für Modellierungen eingesetzt wurden. Allerdings wird von BARNICHON & VOLCKAERT (2003) eingeräumt, dass die vorliegende Datenbasis noch nicht ausreicht, um die in situ anzutreffenden Effekte (d.h. mechanische Scherzonen sowie Rissbildung) zufriedenstellend abzubilden.

Qualität: 2 Quantität: 2

B7a.10 Untertage GeophysikSeismik:

Die untertägige seismische Erkundung in den Erkundungsschächten, einschließlich mikroseismischer und seismischer Messungen in Querbohrungen, sollen klären, ob die in den Schächten beobachtbaren Diskontinuitäten durch den Tunnelbau (plastisches Reagieren des Tons auf Hohlraumbildung) verursacht wurden oder bereits vorher existierten. Erste Ergebnisse zeigen eine Variation der seismischen Geschwindigkeit über eine Entfernung von 6 m. Zusätzliche Kernbohrungen zeigen Klüftung bis zu einem Wandabstand von 10 m, was mit der Zone plastischer Deformation korreliert (S. 423 ONDRAF/NIRAS, 2001b). Hier ordnet sich das CLIPEX-Programm ein, in dem das hydromechanische Reagieren des Tons während der Bohrung der Schächte erkundet wird (S. 431 ONDRAF/NIRAS, 2001b).

ONDRAF/NIRAS (2001)

Qualität: 2 Quantität: 2

B7a.11 Untertage geol. Kartierung**B7a.12 Untertage Bohrungen**

s. B7e.13

Qualität: 2 Quantität: 2

B7a.13 Untertage In-situ-Messungen

s. B7e.13

Qualität: 2 Quantität: 2

B7a.14 Untertage Labor**B7b Hydraulisch (z. B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)****B7b.1 Fernerkundung****B7b.2 Geophysik (übertägig)****B7b.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

Siehe B1.3

Die Parameter Nuclear Magnetic Resonance (NMR), Epithermal Neutron Porosity und Modular Dynamic Tester (MDT) wurden für Aussagen zur Porosität und Permeabilität genutzt und im Bohrloch Mol-1 nahe der geplanten URF HADES angewandt (siehe Tab. S. 211 ONDRAF/NIRAS, 2001b). Die Methoden NMR und MTD stammen ursprünglich aus der Erdölindustrie, um die hydraulischen Eigen-

schaften von porösen Speichergesteinen zu charakterisieren. Ihre Anwendung auf schwach durchlässige Tone hat Testcharakter und die Interpretation ist mit Vorsicht zu sehen (S. 245 ONDRAF/NIRAS, 2001b).

CMR:

Die CMR-Methode misst (im Gegenteil zu MTD) kontinuierlich die Verteilung der Porengröße im Sediment, woraus über empirische Formeln die Permeabilität und hydraulische Leitfähigkeit abgeschätzt werden können (siehe Abb. S. 1.318 ONDRAF/NIRAS, 2001b). Abschätzung k (hydraulische Leitfähigkeit) über die Messung von CMR-Daten (calibrate magnetic resonance) ergibt (k_v estim CMR) (S. 250 ONDRAF/NIRAS, 2001b). Die Anwendung dieser CMR-Methode in feinkörnigen Sedimenten muss weiter erprobt werden. Bisher liefert sie lediglich qualitative (dafür kontinuierliche) Aussagen zur Verteilung der hydraulischen Leitfähigkeit. Durch Abgleichen mit anderen Daten, wie Labormessungen und Dual-Packer-Tests, ist es möglich, auch quantitative Aussagen treffen zu können, wodurch ein kontinuierliches und absolutes Bild der hydraulischen Leitfähigkeit möglich wäre. In den hier erfolgten CMR-Untersuchungen konnten 6 Zonen definiert werden, welche mit der stratigraphischen und geomechanischen Zonierung korrelieren (Poster CD). Die Kalibrierung der CMR-Messungen erfolgte mittels Labormessungen an Tonstopfen (S. 245 ONDRAF/NIRAS, 2001b).

NMR-Messungen dienen zur qualitativen (bzw. vergleichenden) Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeiten bzw. der vertikalen Variation dieses Parameters, welcher einen wichtigen Teilparameter der Radionuklidmigration darstellt. Die hier erzielten NMR-Ergebnisse weisen auf eine ziemlich homogene Verteilung der hydraulischen Leitfähigkeiten (Permeabilitäten) und Porositäten im Boom-Clay mit Ausnahme einiger Abschnitte hin (S. 44 ONDRAF/NIRAS, 2001a). Die Kombination mit anderen, quantitativen Bestimmungsmethoden an Kernmaterial (Laborversuche: Permeameterzellen) ermöglichen einen Abgleich der NMR-Bohrlochmessungen. Es konnten kohärente Ergebnisse der Größenordnung $k \cdot 10^{-12}$ m/s (für tonreiche Schichten) erzielt werden. Die Anisotropie der Leitfähigkeiten wurde in Laborversuchen (Permeameterzellen) ermittelt, wobei $K_h \approx 2 \cdot K_v$ im Boom-Clay, was aber generell auch stark variieren kann (S. 287 ONDRAF/NIRAS, 2001b, siehe Tab. S. 75 ONDRAF/NIRAS, 2001a). Die hydraulische Leitfähigkeit stellt den Hauptunsicherheitsfaktor bei der Sensitivitätsanalyse der Radionuklidmigration dar (S. 884 ONDRAF/NIRAS, 2001b). Die Kommission merkt an, dass ein noch größeres Augenmerk auf den hydraulischen Parametern liegen sollte, da eine sehr feinschichtige Lithologie vorliegt. Weiterhin befinden sie die Abweichungen zwischen den gemessenen Permeabilitäten (an Proben und in situ) und den zur Kalibrierung des hydrogeologischen Modells verwendeten als noch zu groß. Sie schlagen die Durchführung von On-site-Tests vor, welche die Zusammensetzung, Schichtung, Klüftung und Permeabilität des Tons berücksichtigen (S. 1.213 ONDRAF/NIRAS, 2001b).

Durch die Kombination verschiedener Bohrlochmessungen wurde die vertikale Verteilung des absoluten Wassergehaltes modelliert (z.B. Wassergehalt dort höher, wo Tonanteil größer) (S. 1.079 ONDRAF/NIRAS, 2001b).

Qualität: - Quantität: -

Ohne Bewertung, da die Untersuchungen Testcharakter haben.

B7b.4 Geol. Kartierung

B7b.5 Bohrungen

B7b.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7b.7 Feldmessungen - Geochemie

B7b.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7b.9 Labor

Permeameter-Bestimmungen der Durchlässigkeit von einem vollen Profil der Kernproben der Bohrung Mol-1.

AERTSENS et al. (2004)

Im Rahmen des SELFRAC-Vorhabens wurden an Laborproben hydraulische Messungen durchgeführt, die in Abhängigkeit vom eingesetzten Porenfluid eine hydraulische Durchlässigkeit von $2 \cdot 10^{-12}$ m/s für das niedrig salinare Pearson-Wasser und ungefähr $6 \cdot 10^{-12}$ m/s für die gleiche Lösung, aber gesättigt mit CaOH, erbrachte.

Qualität: 3 Quantität: 3

B7b.10 Untertage Geophysik

B7b.11 Untertage geol. Kartierung

B7b.12 Untertage Bohrungen

B7b.13 Untertage In-situ Messungen

B7b.14 Untertage Labor

B7c Diffusion

B7c.1 Fernerkundung

B7c.2 Geophysik (übertägig)

B7c.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7c.4 Geol. Kartierung

B7c.5 Bohrungen

B7c.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7c.7 Feldmessungen - Geochemie

B7c.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7c.9 Labor

B7c.10 Untertage Geophysik

B7c.11 Untertage geol. Kartierung

B7c.12 Untertage Bohrungen

B7c.13 Untertage In-situ-Messungen

B7c.14 Untertage Labor

B7d Thermisch

B7d.1 Fernerkundung

B7d.2 Geophysik (übertägig)

B7d.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7d.4 Geol. Kartierung

B7d.5 Bohrungen

B7d.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7d.7 Feldmessungen - Geochemie

B7d.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7d.9 Labor

B7d.10 Untertage Geophysik

B7d.11 Untertage geol. Kartierung

B7d.12 Untertage Bohrungen

B7d.13 Untertage In-situ-Messungen

B7d.14 Untertage Labor

B7e THMC-Kopplung

B7e.1 Fernerkundung

B7e.2 Geophysik (übertägig)

B7e.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**B7e.4 Geol. Kartierung****B7e.5 Bohrungen****B7e.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7e.7 Feldmessungen - Geochemie****B7e.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7e.9 Labor****B7e.10 Untertage Geophysik****B7e.11 Untertage geol. Kartierung****B7e.12 Untertage Bohrungen**

Für die Bestimmung von Porendruckeffekten während der Auffahrung von Hohlräumen wurden jeweils aufwändig instrumentierte Bohrlochanordnungen installiert (für Details BERNIER et al., 2002), deren Ergebnisse mittels numerischer Modellrechnungen zumindest qualitativ nachvollzogen werden konnten, wobei die hydraulisch-mechanische Kopplung bezüglich der Bedeutung einer mechanischer Auflockerung und der daraus resultierenden hydraulischen Wechselwirkung noch nicht vollständig verstanden ist.

Qualität: 2 Quantität: 3

B7e.13 Untertage In-situ-Messungen

Hydraulisch-mechanisch gekoppelte Prozesse spielen bei der Erstellung eines Endlagers im plastischen Ton, insbesondere aufgrund der großen Konvergenz, getriggert durch den Porendruck, eine herausragende Rolle und werden seit Beginn der Auffahrung des URL seit 1987 sowie in den späteren Phasen intensiv untersucht (z.B. BONNE et al., 1992; BERNIER et al., 2002).

Die wesentlichen experimentellen Ergebnisse zum Verständnis von HMC-Prozessen in plastischen Tonsteinen der Lokation Mol resultieren aus den Messungen, die während der Erweiterungskampagne des URL mit der Erstellung der Verbindungsstrecke zwischen den beiden Schächten im Jahr 2002 gewonnen wurden. Insbesondere das EU-Forschungsprojekt EC CLIPEX instrumentation programme (Clay Instrumentation Programme for the Extension of an Underground Research Laboratory) lieferte mit einem parallel zur Auffahrung durchgeführten, sehr aufwändigen Messprogramm einen wesentlichen Beitrag (für Detail des Untersuchungsprogrammes und Messanordnung s. BERNIER et al., 2002).

Bezogen auf THMC wurden zahlreiche kleinere Erhitzerprojekte am Standort durchgeführt (CACTUS, BACCHUS, CERBERUS und ATLAS).

Parallel mit den In-situ-Messungen wurden jeweils numerische Modellrechnungen durchgeführt, die einerseits auf Basis von Prognoserechnungen zur Versuchskonzeption bezüglich der zu erwartenden Effekte unerlässlich sind und andererseits auf Basis der Messergebnisse, z.B. für Konvergenz und Porendruckentwicklung, jeweils über Rückrechnung der beobachteten Effekte zusätzlich kalibriert werden können.

Für die Beschreibung der THMC-Eigenschaften in der Umgebung von Hohlräumen im plastischen Ton existieren sowohl analytische Ansätze als auch numerische Lösungsansätze, die in internationalen Forschungsprojekten (z.B. TIMODAZ) über Vergleichsrechnungen verifiziert werden. Die hierfür eingesetzten numerischen Werkzeuge basieren auf kommerziellen (FLAC 2D/3D der Fa. ITHASCA) sowie speziell für Tonsteine entwickelten Rechenprogrammen (Code Bright, www.cimne.upc.es/code_bright).

Basierend auf den Laborergebnissen wurden verschiedene Stoffgesetze adaptiert, i.e. CAM-Clay, visko-elasto-plastische Ansätze), die u.a. auch für Modellierungen eingesetzt wurden. Allerdings wird u.a. von BARNICHON & VOLCKAERT (2003) eingeräumt, dass die vorliegende Datenbasis noch nicht ausreicht, um die in situ anzutreffenden Effekte (d.h. mechanische Scherzonen sowie Rissbildung in Relation zu den hydraulischen Parametern) zufriedenstellend abzubilden.

Qualität: 2 Quantität: 3

B7e.14 Untertage Labor

s. B7e.13

Qualität: 2 Quantität: 3

B7f Chemische Eigenschaften (z. B. Oxidation, Adsorption)**B7f.1 Fernerkundung****B7f.2 Geophysik (übertägig)****B7f.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7f.4 Geol. Kartierung****B7f.5 Bohrungen****B7f.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7f.7 Feldmessungen - Geochemie****B7f.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7f.9 Labor****B7f.10 Untertage Geophysik****B7f.11 Untertage geol. Kartierung****B7f.12 Untertage Bohrungen****B7f.13 Untertage In-situ-Messungen****B7f.14 Untertage Labor*****C Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)*****C1 Hydraulisch wirksame Einheiten****C1.1 Fernerkundung****C1.2 Geophysik (übertägig)****C1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

Siehe B7.b

Neben den unter B7.b geschilderten Untersuchungen erfolgte die Charakterisierung der geometrischen und hydrodynamischen Eigenschaften der Aquifere unterhalb des Wirtsgesteins (S. 57 ONDRAF/NIRAS, 2001a) durch zusätzliche Bohrlochmessungen und hydraulische Injektionstests des hydro/96neb-Programms (1996 - 1998) in 4 Bohrlöchern, welche mit Piezometern ausgestattet wurden.

Messung von:

- Gamma-Ray
- Widerstand
- Dichte
- Schallwellen

über die komplette Länge. Ziel ist es, zusammen mit makroskopischen Beschreibungen der Kerne (S. 214 ONDRAF/NIRAS, 2001b), die lithostratigraphische Beschreibung zu komplettieren.

ONDRAF/NIRAS (2001)

Qualität: 2 Quantität: 2

C1.4 Geol. Kartierung**C1.5 Bohrungen**

Regional hydrogeologische Bohrungen (Zoersel, Rijkevosel, Weelde, Turnhout)

ONDRAF/NIRAS (2001a)

Qualität: 2,5 (teilweise gekernt) Quantität: 1

Die Gruppe von 6 SCK-15 Bohrungen wurde in der nuklearen Zone in der Nähe des URL zu verschiedenen Zwecken einschließlich Hydrogeologie gebohrt.

Qualität: 2 - es ist nicht bekannt in welchem Umfang gekernt wurde Quantität: 1

C1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

In den SCK-15 Bohrungen sowie 6 anderen Bohrungen wurden hydraulische Tests durchgeführt bzw. Piezometer installiert.

ONDRAF/NIRAS (2001b); BEAUFAYS et al. (1988)

Qualität: 2 Quantität: 1

C1.7 Feldmessungen - Geochemie**C1.8 Feldmessungen - Geomechanik****C1.9 Labor****C1.10 Untertage Geophysik****C1.11 Untertage geol. Kartierung****C1.12 Untertage Bohrungen****C1.13 Untertage In-situ-Messungen****C1.14 Untertage Labor****C2 Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein****C2.1 Fernerkundung****C2.2 Geophysik (übertägig)****C2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C2.4 Geol. Kartierung****C2.5 Bohrungen****C2.6 Feldmessungen - Geohydraulik****C2.6.1 Tests in einzelnen Bohrungen**

In den SCK-15 Bohrungen sowie 6 anderen Bohrungen wurden hydraulische Tests durchgeführt.

ONDRAF/NIRAS (2001b); BEAUFAYS et al. (1988)

Qualität: 2 Quantität: 1

C2.6.2 Langzeit Druckbeobachtungen in Bohrungen

Langzeit-regionale Beobachtungen meistens im oberen Grundwasserleiter - 80 Messstellen mit 130 Piezometern an > 40 Standorten.

ONDRAF/NIRAS (2001b)

Qualität: 2 Quantität: 1

C2.7 Feldmessungen - Geochemie**C2.8 Feldmessungen - Geomechanik****C2.9 Labor****C2.10 Untertage Geophysik****C2.11 Untertage geol. Kartierung****C2.12 Untertage Bohrungen****C2.13 Untertage In-situ-Messungen**

Porendruckmessungen in der Umgebung des URL HADES wurden unmittelbar mit der Auffahrung begonnen (d.h. vor ca. 20 Jahren), wofür eine bewährte und hinreichend erprobte Technik mit Piezometern in Bohrlöchern entwickelt wurde (BASTIAENS et al., 2007). 3 Piezometergruppen (EG/BS bzw. in HADES-Galerie) wurden installiert: NEERDAEL et al. (2001); BEAUCAIRE et al. (2000). Im Rahmen des SELFRAC-Vorhabens wurden die vorhandenen Messanordnungen noch erweitert. Mittels Langzeitmessungen wurde nachgewiesen, dass die durch die Auffahrung hydraulisch beeinflusste Zone vertikal > 40 m und horizontal bis zu 20 m beträgt.

BASTIAENS et al. (2007).

Qualität: 2 Quantität: 3

C2.14 Untertage Labor**C3 Fließ- und Speicherparameter****C3.1 Fernerkundung****C3.2 Geophysik (übertägig)****C3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C3.4 Geol. Kartierung****C3.5 Bohrungen****C3.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

Injektions-Tests der oberen bzw. unteren Grundwasserleiter in regionalen Bohrungen (Zoersel, Rijkvesel, Turnhout, Weelde).

BEAUFAYS et al. (1988)

Qualität: 2 Quantität: 1

Hydraulische-Tests in den Bohrungen: SCK-15, Dessel-1 und 10 anderen Bohrungen.

BEAUFAYS et al. (1988)

Qualität: 2 Quantität: 1

Hydraulische Tests in der Bohrung Mol-1 am Standort der URL.

BEAUFAYS et al. (1988)

Qualität: 1 Quantität: 1

C3.7 Feldmessungen - Geochemie**C3.8 Feldmessungen - Geomechanik****C3.9 Labor****C3.10 Untertage Geophysik****C3.11 Untertage geol. Kartierung****C3.12 Untertage Bohrungen**

C3.13 Untertage In-situ-Messungen

Zuflüsse von 3 Piezometern (EG/BS bzw. in HADES-Galerie) wurden gemessen.

NEERDAEL et al. (2001); BEAUCAIRE et al. (2000)

Qualität: 1 Quantität: 3

C3.14 Untertage Labor**C4 Zwei-Phasenflussparameter****C4.1 Fernerkundung****C4.2 Geophysik (übertägig)****C4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C4.4 Geol. Kartierung****C4.5 Bohrungen****C4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****C4.7 Feldmessungen - Geochemie****C4.8 Feldmessungen - Geomechanik****C4.9 Labor****C4.10 Untertage Geophysik****C4.11 Untertage geol. Kartierung****C4.12 Untertage Bohrungen****C4.13 Untertage In-situ-Messungen****C4.14 Untertage Labor*****D Hydrochemie*****D1 Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)****D1.1 Fernerkundung****D1.2 Geophysik (übertägig)****D1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D1.4 Geol. Kartierung****D1.5 Bohrungen****D1.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D1.7 Feldmessungen - Geochemie****D1.8 Feldmessungen - Geomechanik****D1.9 Labor**

Porenwasserproben von den SSW-Piezometern um 257 m, 14d um 223 m sowie 15a um 212,5 m wurden auf ^{14}C analysiert. Alter > 28.000 Jahre.

MONSECOUR & FONTEYNE (1988)

Qualität: 2 Quantität: 3

EC PHYMOL-Projekt beprobte Grundwasser von 30 regionalen Bohrungen meist mit N₂-lift, andere mit einer Pumpe oder direkt von artesischen Bohrungen. Proben zur Analyse von Gasen wurden unter Druck genommen. Analysiert wurde auf Isotope (Wasserstoff, Sauerstoff, Kohlenstoff), seltene Gase sowie ¹⁴C.

MARIVOET et al. 2000; PHILIPPOT et al. (2000)

Qualität: 1 Quantität: 1 (Wasserstoff- sowie Sauerstoff-Isotope)

Qualität: 1 Quantität: 1 (¹⁴C)

D1.10 Untertage Geophysik

D1.11 Untertage geol. Kartierung

D1.12 Untertage Bohrungen

D1.13 Untertage In-situ-Messungen

D1.14 Untertage Labor

D2 Porenwasserchemismus

D2.1 Fernerkundung

D2.2 Geophysik (übertägig)

D2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

D2.4 Geol. Kartierung

D2.5 Bohrungen

D2.6 Feldmessungen - Geohydraulik

D2.7 Feldmessungen - Geochemie

EC PHYMOL-Projekt beprobte Grundwasser von 30 regionalen Bohrungen; pH sowie Eh wurden in Durchflusszellen an der Oberfläche bestimmt.

PITSCH & BEAUCAIRE (2000); BEAUCAIRE et al. (2000)

Qualität: 2 Quantität: 1

D2.8 Feldmessungen - Geomechanik

D2.9 Labor

Wasserproben zur Analyse wurden von der Bohrung SCK-15 sowie von Piezometern in den Grundwasserleitern oberhalb und unterhalb des Boom-Clays genommen.

BEAUCAIRE et al. (2000)

Proben des Porenwassers zur Analyse wurden durch Laugung von Kernen der Bohrung Mol-1 vorbereitet.

ONDRAF/NIRAS (2001a)

Qualität: 2 Quantität: 3

EC PHYMOL-Projekt beprobte Grundwasser von 30 regionalen Bohrungen für umfangreiche Analysen (einschließlich Spurenelemente).

MARIVOET et al. (2000); PITSCH & BEAUCAIRE (2000); BEAUCAIRE et al. (2000)

Qualität: 2 Quantität: 1

D2.10 Untertage Geophysik

D2.11 Untertage geol. Kartierung

D2.12 Untertage Bohrungen**D2.13 Untertage In-situ-Messungen**

In-situ-Messungen der pH- bzw. Eh-Werte wurden im Rahmen des ORPHEUS-Projektes entwickelt.

NEERDAEL et al. (2001)

Qualität: 3 Quantität: 1

In-situ-pH-Werte wurden mit einer Optode (optische Sensor) gemessen.

ONDRAF/NIRAS (2001a)

Qualität: 2 Quantität: 1

D2.14 Untertage Labor

Wasserproben zur chemischen Analyse wurden von EG/BS und 2 anderen Piezometern genommen.

NEERDAEL et al. (2001); BEAUCAIRE et al. (2000); DE CRAEN (2006)

Qualität: 2 Quantität: 2

Proben des Porenwassers wurden von Kernen der untertägigen Piezometerbohrungen durch Auspressen oder Laugung vorbereitet.

GRIFFAULT et al. (1999)

Qualität: 2 Quantität: 1

D3 Transporteigenschaften**D3.1 Fernerkundung****D3.2 Geophysik (übertägig)****D3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D3.4 Geol. Kartierung****D3.5 Bohrungen****D3.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D3.7 Feldmessungen - Geochemie****D3.8 Feldmessungen - Geomechanik****D3.9 Labor**

Migrationsversuche mit Radionukliden wurden mit Kernproben der Bohrung Mol-1 durchgeführt.

AERTSENS et al. (2004)

Qualität: 2 Quantität: 3

D3.10 Untertage Geophysik**D3.11 Untertage geol. Kartierung****D3.12 Untertage Bohrungen****D3.13 Untertage In-situ-Messungen**

3D-Migrationsversuche wurden mit HTO bzw. C¹⁴ durchgeführt.

NEERDAEL et al. (2001)

Qualität: 3 Quantität: 3

D3.14 Untertage Labor

D4 Kolloide usw.**D4.1 Fernerkundung****D4.2 Geophysik (übertägig)****D4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D4.4 Geol. Kartierung****D4.5 Bohrungen****D4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D4.7 Feldmessungen - Geochemie****D4.8 Feldmessungen - Geomechanik****D4.9 Labor****D4.10 Untertage Geophysik****D4.11 Untertage geol. Kartierung****D4.12 Untertage Bohrungen****D4.13 Untertage In-situ-Messungen****D4.14 Untertage Labor****ZITATE**

(Die mit * gekennzeichneten Zitate befinden sich auf dem beiliegenden Datenträger.)

*AERTSENS, M., WEMAERE, I. & WOUTERS, L. (2004): Spatial variability of transport parameters in the Boom Clay. Applied Clay Science 26, 37-45.

*BARNICHON, J.-D. & VOLCKAERT, G. (2003): Observations and predictions of hydromechanical coupling effects in the Boom Clay, Mol Underground Research Laboratory, Belgium. Hydrogeology J., 2003, Vol. 11-1, 193-202

*Bastiaens, W., Bernier, F. & Li, X.L. (2007): SELFRAC: Experiments and conclusions on fracturing, self-healing and self-sealing processes in clays, Physics and Chemistry of the Earth, v. 32, iss. 8-14, 600-615.

BEAUFAYS, R., BLOMMAERT, W., BRONDERS, J., DE CANNIERE, P., DEL MARMOL, P., HENRION, P., MONSECOUR, M., PATYN, J. & PUT, M. (1988): Characterization of the Boom Clay and its Multi-layered Hydrogeological Environment. Final Report R-2944, EC Contract FI1W-055-B, SCK-CEN, Mol, Belgium. [Hinweis: als EU-Bericht über Bibliothek zu beziehen]

*BERNIER, F., BUYENS M., BROSEMER, D. & DE BRUYN, D. (2000): Extension of an underground laboratory in a deep clay formation". GeoEng2000, Melbourne, November 2000.

*BERNIER, F., LI X.-L., VERSTRICHT J., BARNICHON J. D., LABIOUSE V., BASTIAENS W., PALUT J. M., BEN SLIMANE J. K., GHOREYCHI M., GAOMBALET J., HUERTAS F., GALERA J.M., MERRIEN K., ELORZA F.J. & DAVIES C. CLIPEX (2002): Clay Instrumentation Programme for the Extension of an Underground Research Laboratory. EUR 20619, 2002, Luxembourg: Commission of the European Communities.

*BERNIER, F., LI, X.-L., BASTIAENS, W., ORTIZ, L., VAN GEET, M., WOUTERS, L., FRIEG, B., BLÜMBLING, P., DESRUES, J., VIAGGIANI, G., COLL, C., CHANCHOLE, S., DE GREEF, V., HAMZA, R., MALINSKY, L., VERVOORT, A., VANBRABANT, Y., DEBECKER, B., VERSTRAELEN, J., GOVAERTS, A., WEVERS, M., LABIOUSE, V., ESCOFFIER, S., MATHIER, J.-F., GASTALDO, L. & BÜHLER, CH. (2007): Fractures and self-healing within the excavated damaged zone in clays. SELFRAC - Final technical report. European Commission, Luxembourg).

*BONNE A., BECKERS H., BEAUFAYS R., BUYENS M., COURSIER J., DE BRUYN D., FONTEYNE A., GENICOT J., LAMY D., MEYNENDONCKX P., MONSECOUR M., NEERDAEL B., NOYNAERT L., VOET M. & VOLCKAERT G. (1992): The HADES demonstration and pilot project on radioactive waste disposal in clay formation. Commission of the European Communities, Report EUR 13851.

- *DE CRAEN, M. (2006): The Boom Clay geochemistry: natural evidence. Proc. Mat. Res. Soc. Symp. Vol. 932 (Ed. P. van Iseghem) Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXIX, Paper #158.
- *GRIFFAULT, L., MERCERON, T., MOSSMANN, J. R., NEERDAEL, B., DE CANNIERE, P., BEAUCAIRE, C., DAUMAS, S., BIANCHI, A. & CHRISTEN, R. (1999): Projet 'ARCHIMEDE-Argile': Acquisition et régulation de la chimie des eaux en milieu argileux pour le projet de stockage de déchets radioactifs en formation géologique. Report EUR 17454, EC, 71 pp.
- *MARIVOET, J., VAN KEER, I., WEMAERE, I., HARDY, L., PITSCH, H., BEAUCAIRE, C., MICHELOT, J.-L., MARLIN, C., PHILIPPOT, A.C., HASSANIZADEH, M. & VAN WEERT, F. (2000): A Palaeohydrogeological study of the MOL site (PHYMOL project). Report EUR 19146, Euratom, EC D-G Research.
- *MONSECOUR, M. & FONTEYNE, A. (1988): Application of isotopic techniques and hydrochemistry for the characterisation of a multilayered aquiferous system. In Progress Report No 3 on CEC Contracts FI1W-0055-B & FI1W-0145-B, Disposal of Conditioned High-level and Long-lived Radioactive Waste in a Deep Clay Formation, Jan-June 1988, SCK-CEN, Mol, Belgium.
- *NEERDAEL, B., MARIVOET, J., PUT, M. & VAN ISEGHEM, P. (2001): Waste and disposal: Research and development. SCK-CEN Annual Report 2001, Mol, Belgium.
- ONDRAF/NIRAS (2001a): Technical Overview of the SAFIR 2 Report. NIROND 2001-05E, Dec 2001. (liegt als Buch vor)
- *ONDRAF/NIRAS (2001b): SAFIR 2 Safety Assessment and Feasibility Interim Report 2. NIROND 2001-06E, Dec. 2001.
- *PHILIPPOT, A. C., MICHELOT, J.-L. & MARLIN, C. (2000): A Palaeohydrogeological Study of the Mol Site, Belgium (PHYMOL Project). Rapport spécifique no 3: Analyse des isotopes et des gaz nobles. Report DOC RTD/55/2000, Contract FI4W-CT96-0026, EC D-G Research.
- *PITSCH, H. & BEAUCAIRE, C. (2000): A Palaeohydrogeological Study of the Mol Site, Belgium (PHYMOL Project). Topical Report 2: Hydrogeochemistry. Report DOC RTD/54/2000, Contract FI4W-CT96-0026, EC D-G Research.

MOL	Erkundungs- methoden: 1-9 übertägig 10-14 untertägig	Fernerkundung	Geophysik (übertägig)	Geophysik (im Bohrloch)	Geol. Kartierung	Bohrungen	Feldmessungen - Geohydraulik	Feldmessungen - Geochemie	Feldmessungen - Geomechanik	Labor	Geophysik	geologische Kartierung	Bohrungen	In-situ- Messungen	Labor
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Inhalte der Themenkomplexe		Bezeichnungen													
Regionale Geologie (20 km*20 km)															
Wirtsgestein / Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)	A1														
Stratigraphie	A2														
Strukturgeologie und Tektonik (Störungsmuster, Faltung)	A3														
Regionales Spannungsfeld	A4														
Temperatur und Wärmeleitfähigkeit	A5														
Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z.B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)	A6														
Rohstoffvorkommen	A7														
Eigenschaften des Wirtsgesteins und des Deckgebirges am Standort															
Lithologie	B1														
Geometrie (Tiefenlage, Ausdehnung)	B2														
Makro-Struktur (Großgefüge: Störungen / Faltungen / Deformationen / Klüfte)	B3														
Mikro-Struktur (Korngefüge / Porenstruktur)	B4														
In-situ-Spannungsverhältnisse	B5														
Mineralogie	B6														
Petrophysikalische Eigenschaften (Probenmaßstab):															
Gesteinsmechanik (z.B. Festigkeit, Kriechen)	B7a														
Hydraulik (z.B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)	B7b														
Diffusion	B7c														
Thermik	B7d														
THMC-Kopplung	B7e														
Chemismus (z.B. Oxidation, Adsorption)	B7f														
Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)															
Hydraulisch wirksame Einheiten	C1														
Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein	C2														
Fließ- und Speicherparameter	C3														
Zwei-Phasenfluss-Parameter	C4														
Hydrochemie															
Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)	D1														
Porenwasserchemismus	D2														
Transporteigenschaften	D3														
Kolloide usw.	D4														

Erkundungsaktivität

Erkundungsaktivität ohne eine Bewertung bzgl. der Qualitäts- bzw. Quantitätskategorien

Standort:	Wellenberg (Schweiz)
Name - Typ:	Wellenberg - Standort für schwach- und mittelradioaktiven Abfall
Lage:	Der Wellenberg liegt im Kanton Nidwalden auf der E-Seite des Engelbergtals zwischen Wolfenschiessen, Grafenort und Oberrickenbach. Bei dem Tal handelt es sich um das mittlere der drei großen Quertäler des zentral-schweizerischen Alpenraums im Süden des Vierwaldstätter Sees. Der Wellenberg im Zentrum des Untersuchungsgebietes hat eine Höhe von 1.341 m und liegt damit deutlich unter der Höhe der umgebenden Gebirgszüge, die das Untersuchungsgebiet geographisch begrenzen.
Betreiber:	Genossenschaft für nukleare Entsorgung Wellenberg (GNW), Sitz in Wolfenschiessen
Fläche:	Das Untersuchungsgebiet des Standortes Wellenberg hat eine Gesamtfläche von 50 km ² .
Erschließung/ Teufenlage:	Geplant war eine horizontale Einlagerung mit einigen hundert Metern Überdeckung. Der Wirtsgesteinskörper hat auf der geplanten Endlagertiefe (ca. 300 m unter Talniveau) eine N-S-Ausdehnung von über 1.700 m.
Geologie:	1994 wurde das ursprünglich auf die Palfris-Formation und die Vitznau-Mergel der Drusberg-Decke (Unterkreide) beschränkte Wirtsgestein in tonigem Mergelgestein um das interhelvetische Mélange und die tertiären Schiefer der Axen-Decke erweitert. Das Wirtsgestein wird im Süden durch die Kalke und Sandsteine der Axen-Decke und im Norden durch die Kalke der Drusberg-Decke (Großfaltenbau) begrenzt. Großräumige Störungszonen oder Fremdgesteinseinschlüsse mit Anbindung an die Biosphäre wurden nicht festgestellt.
Historie:	<p>Anfang der 80er Jahre begann die NAGRA mit der landesweiten Suche nach einem geeigneten Standort für ein Endlager für radioaktive Stoffe. Dabei wurden aus 100 Gebieten drei für weitere Untersuchungen ausgewählt.</p> <p>Im Jahr 1986 wurde mit Untersuchungen am Wellenberg begonnen.</p> <p>1993 hat die NAGRA den Wellenberg im Kanton Nidwalden als Standort für ein geologisches Tiefenlager für schwach- und mittelaktive Abfälle vorgeschlagen. Die Lagerkavernen waren hier in tonigem Mergelgestein vorgesehen.</p> <p>1994 wurde die Genossenschaft für nukleare Entsorgung Wellenberg (GNW) mit Sitz in Wolfenschiessen gegründet, sie wäre für den Bau und den Betrieb zuständig gewesen.</p> <p>1995 wurde das Projekt nach einem kantonalen Volksentscheid blockiert.</p> <p>Im Frühjahr 2000 empfahlen Experten des Bundes sowie die Expertengruppe Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle (EKRA), den Standort Wellenberg weiter zu verfolgen und einen Sondierstollen für weitere wissenschaftliche Untersuchungen zu bauen.</p> <p>2000 setzte der Nidwaldner Regierungsrat ein Beratungsgremium mit verschiedenen Experten ein (Kantonale Fachgruppe Wellenberg, KFW). Die KFW überprüfte die Anpassungen des Lagerkonzeptes und stand dem Regierungsrat unabhängig beratend zur Seite.</p> <p>Im September 2001 erteilte der Regierungsrat aufgrund der Empfehlung der KFW der Genossenschaft für nukleare Entsorgung Wellenberg mit Auflagen eine Konzession für den Bau des Sondierstollens.</p> <p>Am 22. September 2002 wurde diese Konzession von den Nidwaldner Stimmbürgern abgelehnt.</p>

Literatur	http://www.nagra.ch NAGRA (1996): Geosynthese Wellenberg 1996 - Ergebnisse der Untersuchungsphasen I und II, September 1997, Textband sowie Anlagen und Beilagenband, Technischer Bericht 96-01, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Wettingen (CH)
------------------	--

Wellenberg, SchweizINFO:

Das Untersuchungsgebiet des Standortes Wellenberg hat eine Gesamtfläche von 50 km².

Bohrungen wurden innerhalb einer Fläche von etwa 3 km² niedergebracht. Die drei tiefsten Bohrungen sind zwischen ca. 1.550 und 1.870 m tief.

Wellenberg im Engelbergertal als horizontal zugängliches, potenzielles Endlager für kurzlebige, schwach- und mittelfradioaktive Abfälle. Im Vergleich zum geologisch sehr ähnlichen Nachbarstandort Oberbauenstock sind hier bessere und technisch einfachere Explorationsmöglichkeiten gegeben und tieferes Wirtsgestein zu vermuten, wodurch auch die Möglichkeit eines Tieflagers für langlebige mittelaktive Abfälle unter der Talsohle eventuell gegeben sein könnte. Das geplante Arbeitsprogramm umfasst Bohrungen, Sondierbohrungen, 1 Sondierstollen (max. 2 km lang, ca. 1 km im Wirtsgestein) mit weiteren Bohrungen und Untersuchungen sowie die Einrichtung eines Felslabors u.a. für In-situ-Versuche. Zu klärende Fragen sind:

- Geometrie des Wirtsgesteins
- Existenz von Kalkschuppen im Wirtsgestein
- Hydrogeologie des Wirts- und Nebengesteins
- Gasführung im Wirts- und Nebengestein

Hauptaufgabe der geophysikalischen Untersuchungen ist es, die Geometrie der Wirtsgesteinsbegrenzung zu erfassen, die innere Konsistenz des Wirtsgesteinskörpers zu ermitteln und größere Fremdgesteinseinschlüsse z.B. Kalkschuppen zu orten. NAGRA (1989)

Insgesamt wurden u.a. 7 Tiefbohrungen und reflexions- und refraktionsseismische Messkampagnen durchgeführt. Das Wirtsgestein sind Mergel, Mélange und Schiefer mit der Basis in 1.000 m Tiefe unter Endlager und 1.200 bis 1.700 m seitlicher Ausdehnung. Genauer: Palfris-Fm. und Vitznau-Mergel der Drusberg-Decke (U-Kreide) plus Globigerinenmergel und Schimber-Schiefer der Axen-Decke (Tertiär) plus interhelvetische Mélanges innerhalb oder dazwischen. NAGRA (1997)

A Regionale Geologie (20 km x 20 km)**A1 Wirtsgestein/Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)****A1.1 Fernerkundung****A1.2 Geophysik (übertägig)**Seismik:

2D-Reflexionsseismik: siehe auch B2.2

Gemessen wurden 5 Profile (4 quer und 1 parallel zum Streichen) mit insgesamt 19,6 km Länge (Aufnahme 1989, S. A-13), geteilte Auslage (split spread) mit 2.860 m Aufstellungsweite, Geophongruppenabstand 20 m, 2 ms Abtastrate, Schusspunkt im Zentrum, Schusspunktabstand 20 m, 3 Schussbohrungen pro Schusspunkt ca. 2 m tief (2 x 150 g bzw. 25 g im Zentrum). Mehrfache Interpretation unter verschiedenen Gesichtspunkten und unter Nutzung vorhandener Tiefbohrungen und VSP als Kalibrierung. Ziel war u.a. die Klärung der äußeren und inneren Wirtsgesteinsgeometrie des regionalen Untersuchungsgebietes.

Die seismischen Daten von 1989 und 1994 liefern nur wenige direkte Hinweise auf große und regionale Störungen im Gebiet. Direkte Reflexionen sind nur bei Diskontinuitäten mit geringer Neigung gegen die Horizontale erfassbar, während stark geneigte nur indirekt sichtbar sind, wenn Phasensprünge z.B. durch Schichtunterbrechungen auftreten. Hinsichtlich der Interpretation von Störungen treten z.T. Diskrepanzen zwischen reflexionsseismischen und geologisch-petrophysikalischen Angaben auf. Aufgrund der vorliegenden komplexen Geologie kann die 2D-Seismik nur unvollständige Ergebnisse liefern. Durch die alpine Topographie und geringe Impedanzkontraste ist die Abbildungsqualität sehr begrenzt. Große Fehler treten in Prognosen ohne direkte Geschwindigkeitsinformation auf. Erzielbare Ergebnisse waren u.a. die Erkennung der Basis des Wirtsgesteins. Als indirekte Methode zur Bestimmung der Wirts- und Nebengesteinsgrenzen wurde außerdem ein ray tracing (Modellierung seismischer Strahlen) durchgeführt. Generell liefert die vorliegende Seismik keine Grundlage für eine geolo-

gische Interpretation; die Aussagen einer möglichen 3D-Seismik werden als erfolglos erachtet, so dass die geplante Messung einer 3D-Seismik nicht durchgeführt wurde.

NAGRA (1997)

Qualität: 1 Quantität: 2

Qualität 1 wurde bewertet, da die Seismik aufgrund der geologischen Verhältnisse nicht die erwarteten Aussagen liefern konnte.

A1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A1.4 Geol. Kartierung

A1.5 Bohrungen

A1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A1.7 Feldmessungen - Geochemie

A1.8 Feldmessungen - Geomechanik

A1.9 Labor

A1.10 Untertage Geophysik

A1.11 Untertage geol. Kartierung

A1.12 Untertage Bohrungen

A1.13 Untertage In-situ-Messungen

A1.14 Untertage Labor

A2 Stratigraphie

A2.1 Fernerkundung

A2.2 Geophysik (übertägig)

A2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A2.4 Geol. Kartierung

A2.5 Bohrungen

A2.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A2.7 Feldmessungen - Geochemie

A2.8 Feldmessungen - Geomechanik

A2.9 Labor

A2.10 Untertage Geophysik

A2.11 Untertage geol. Kartierung

A2.12 Untertage Bohrungen

A2.13 Untertage In-situ-Messungen

A2.14 Untertage Labor

A3 Strukturgeologie und Tektonik

A3.1 Fernerkundung

A3.2 Geophysik (übertägig)

2D-Reflexionsseismik: siehe A.1.2

Ziel war u.a. die Klärung des strukturellen Aufbaus des regionalen Untersuchungsgebietes. Erzielbare Ergebnisse waren u.a. die Erkennung regionaler Störungen, wobei einige potenzielle Verwerfungssys-

teme nicht abgebildet werden konnten. Generell liefert die vorliegende Seismik keine Grundlage für eine geologische Interpretation.

NAGRA (1997)

Qualität: 1 Quantität: 2

A3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A3.4 Geol. Kartierung

A3.5 Bohrungen

A3.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A3.7 Feldmessungen - Geochemie

A3.8 Feldmessungen - Geomechanik

A3.9 Labor

A3.10 Untertage Geophysik

A3.11 Untertage geol. Kartierung

A3.12 Untertage Bohrungen

A3.13 Untertage In-situ-Messungen

A3.14 Untertage Labor

A4 Regionales Spannungsfeld

A4.1 Fernerkundung

A4.2 Geophysik (überfällig)

Aus der Herdflächenanalyse lokaler Erdbeben sind Aussagen zum rezenten Spannungsfeld ableitbar (siehe auch A6.2).

NAGRA (1997)

A4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A4.4 Geol. Kartierung

A4.5 Bohrungen

A4.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A4.7 Feldmessungen - Geochemie

A4.8 Feldmessungen - Geomechanik

A4.9 Labor

A4.10 Untertage Geophysik

A4.11 Untertage geol. Kartierung

A4.12 Untertage Bohrungen

A4.13 Untertage In-situ-Messungen

A4.14 Untertage Labor

A5 Temperatur und Wärmeleitfähigkeit

A5.1 Fernerkundung

A5.2 Geophysik (überfällig)

A5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**A5.4 Geol. Kartierung****A5.5 Bohrungen****A5.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A5.7 Feldmessungen - Geochemie****A5.8 Feldmessungen - Geomechanik****A5.9 Labor****A5.10 Untertage Geophysik****A5.11 Untertage geol. Kartierung****A5.12 Untertage Bohrungen****A5.13 Untertage In-situ-Messungen****A5.14 Untertage Labor****A6 Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z. B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)****A6.1 Fernerkundung****A6.2 Geophysik (übertägig)**

Analyse historischer makroseismisch beschriebener und seit 1974 instrumentell registrierter Erdbeben, um u.a. Aussagen zur rezenten Störungsaktivität und Herdmechanismen zu erhalten. Die Qualität dieser Angaben ist insbesondere bei lediglich makroskopisch beschriebenen, historischen Beben nicht ausreichend, um Herdflächenanalysen durchzuführen, weshalb sich diese vor allem auf Angaben instrumentell registrierter Ereignisse stützen.

NAGRA (1997)

Qualität: 1 Quantität: 1

A6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**A6.4 Geol. Kartierung****A6.5 Bohrungen****A6.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A6.7 Feldmessungen - Geochemie****A6.8 Feldmessungen - Geomechanik****A6.9 Labor****A6.10 Untertage Geophysik****A6.11 Untertage geol. Kartierung****A6.12 Untertage Bohrungen****A6.13 Untertage In-situ-Messungen****A6.14 Untertage Labor****A7 Rohstoffvorkommen****A7.1 Fernerkundung****A7.2 Geophysik (übertägig)****A7.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A7.4 Geol. Kartierung**

A7.5 Bohrungen**A7.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A7.7 Feldmessungen - Geochemie****A7.8 Feldmessungen - Geomechanik****A7.9 Labor****A7.10 Untertage Geophysik****A7.11 Untertage geol. Kartierung****A7.12 Untertage Bohrungen****A7.13 Untertage In-situ-Messungen****A7.14 Untertage Labor*****B Eigenschaften des Wirtsgesteins und des Deckgebirges am Standort*****B1 Lithologie/Stratigraphie****B1.1 Fernerkundung****B1.2 Geophysik (übertägig)****B1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

Die Bohrlochmessungen erfolgten in 400 bis 1.100 m Tiefe. NAGRA (1989)

Aus kontinuierlichen Logging-Daten (S. 59) können petrophysikalische Parameter der Schichten als Ergänzung zu Laborversuchen an Kernmaterial abgeleitet werden. Weiterhin sind Aussagen zur Repräsentativität der Laborversuche, zur Variabilität der Parameter mit der Tiefe und zum lithologischen Aufbau möglich. Strukturgeologische Interpretationen können erleichtert werden.

Fokussiertes Widerstandslog (LLD, MSFL) für die Bestimmung des elektrischen Formationswiderstandes zur lithologischen Unterscheidung von Formationstypen z.B. Mergel-Kalkstein. Elektrisches Eigenpotential-Log (SP) zur Bestimmung des elektrischen Potentials zwischen Bohrlochmund und Sonde. Messung des photoelektrischen Faktors (PEF) als Lithologieindikator. Generell ist mit den hier verwendeten Methoden eine sehr gute lithologische Schichttrennung möglich. Durch Abschätzung des Kalk- und Quarzgehaltes (siehe B6.3) und dem spezifischen elektrischen Widerstand ist eine gute lithologische Unterscheidung von Kalk und Mergel möglich.

NAGRA (1997)

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.4 Geol. Kartierung

Die geologische Detailkartierung mit Einmessungen der Strukturen von 1988 im Maßstab 1 : 10.000 umfasst eine Fläche von 39 km², die 1992 nochmals auf 50 km² erweitert wurde. Die Ergebnisse wurden mit den Bohrungsbefunden abgeglichen. Es wurden Quer- und Längsprofile im Maßstab 1 : 25.000 erstellt.

NAGRA (1997)

Qualität: 2 Quantität: 3

B1.5 Bohrungen

7 Tiefbohrungen

NAGRA (1997)

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B1.7 Feldmessungen - Geochemie****B1.8 Feldmessungen - Geomechanik****B1.9 Labor****B1.10 Untertage Geophysik****B1.11 Untertage geol. Kartierung****B1.12 Untertage Bohrungen****B1.13 Untertage In-situ-Messungen****B1.14 Untertage Labor****B2 Geometrie****B2.1 Fernerkundung****B2.2 Geophysik (übertägig)**Seismik:

Mit Hilfe der *Reflexionsseismik* wurden Detailinformationen im Bohrlochumfeld und auf Verbindungslinien der Sondierbohrungen erwartet, wodurch die Übertragung der Bohrergebnisse auf das Umfeld ermöglicht werden sollte. Weiterhin sollten die Strukturverhältnisse der Wirtsgesteinsbegrenzungen, die innere Struktur des Wirtsgesteins, Informationen zum Baustil von Schichtkontakten und Informationen zur späteren Interpretation, Identifizierung und Charakterisierung mit Hilfe von Bohrlochseismik gewonnen werden. NAGRA (1989)

2D-Reflexionsseismik: Im Anschluss an die unter A1.2. erläuterten Messkampagnen wurden 1994 3 weitere Profile mit 8,3 km Länge aufgenommen mit 5 m Geophongruppenabstand, geteilter Auslage mit 800 m Aufstellungsweite, Schusspunkt Abstand 12 m, 3 Schussbohrungen ca. 1,6 m tief (3 x 120 g). Ziel war die Untersuchung des direkten Endlagergebietes hinsichtlich Anzeichen auf größere Inhomogenitäten, der Lokalisierung von Störungszonen sowie auf Fremdgesteinseinschlüsse im Wirtsgesteinskörper. Da aufgrund der komplexen Geologie des Wellenberges mit sehr kleinen Impedanzunterschieden und komplizierter Topographie die erwartete Verbesserung der Datenqualität auch nach aufwendigem Processing nicht erreicht werden konnte, wurden lediglich 3 von 6 geplanten Profilen gemessen. Eine weitere reflexionsseismische Erkundung des Wellenberges von der Oberfläche aus, erscheint wenig sinnvoll. NAGRA (1997)

Refraktionsseismik: 2 x 3 parallele Profile à 5,5 km (Gesamtlänge jeweils 16,5 km) in einem Abstand von 150 m untereinander. Die Profile verlaufen senkrecht zum Gebirgsgrat. 550 m bzw. 1.100 m Auslagenlänge für eine Erkundungstiefe von 200 bis 350 m. Sprengstoffquellen (3 x 200 g) in 2 m tiefen Bohrungen. Registrierung der Ersteinsätze und Berechnung von v_p und Tiefe. Bereits 1978 erfolgten im Zuge der Kohlenwasserstoffexploration Nahlinienaufnahmen, welche zur statischen Korrektur verwendet wurden. Ziel der refraktionsseismischen (flachseismischen) und geoelektrischen Messungen war die Ermittlung der Mächtigkeit der Lockergesteinsfüllung bzw. der Tiefe der Felsoberfläche, die Erkundung des Reliefs der Felsoberfläche sowie die Erfassung größerer Einlagerungen und die Festlegung eines Bohrstandortes (SB6). Details in: Reflexionsseismik 1982 (NTB 84-15) und Übersicht OBS (NTB 86-17) und PGG (NTB 86-18). Beim Abgleich mit vorhandenen Bohrungen bestehen z.T. sehr gute Übereinstimmungen, z.T. traten erhebliche Tiefenabweichungen auf, die wahrscheinlich durch kleinräumige laterale Geschwindigkeitsvariationen verursacht wurden. Mit den Nahlinienaufnahmen ist eine Kontrolle und Abstimmung der Refraktionsdaten möglich. (NAGRA 1989)

NAGRA (1997)

Qualität: 2 Quantität: 2

Trotz der relativ schlechten Qualität der reflexionsseismischen Messungen, die sogar zur Einschränkung des Untersuchungsumfanges führte, wurde Qualität 2 vergeben, da die zusätzlichen refraktionsseismischen Messungen ihre Aufgabenstellung erfüllen und gute Ergebnisse lieferten.

Geoelektrik:

Geoelektrische Sondierungen mit bis zu 1.300 m Auslagenlänge, Profile analog Refraktionsseismik (s.o.), Abstand der Mittelpunkte 550 m, 10 Einspeisungen je Profil mit gestaffelten Abständen (6.3, 12.5, 25, 50, 100, 150, 250, 350, 450, 550 m), Ziel und Ergebnisse siehe Refraktionsseismik (s.o.), Bezüglich Details Verweis auf: Übersicht OBS (NTB 86-17) und PGG (NTB 86-18) (NAGRA 1989).

NAGRA (1997)

Qualität: 1 Quantität: 1 - 2

B2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**B2.4 Geol. Kartierung**

Bei der unter B1.4 beschriebenen Kartierung wurde auch die Oberflächengeometrie der Einheiten bestimmt.

NAGRA (1997)

Qualität: 2 Quantität: 3

B2.5 Bohrungen

7 Tiefbohrungen

NAGRA (1997)

Qualität: 3 Quantität: 2

B2.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B2.7 Feldmessungen - Geochemie****B2.8 Feldmessungen - Geomechanik****B2.9 Labor****B2.10 Untertage Geophysik****B2.11 Untertage geol. Kartierung****B2.12 Untertage Bohrungen****B2.13 Untertage In-situ-Messungen****B2.14 Untertage Labor****B3 Makro-Struktur****B3.1 Fernerkundung****B3.2 Geophysik (übertägig)**

2D-Reflexionsseismik: siehe B2.2

Ziel war die Untersuchung des direkten Endlagergebietes hinsichtlich Anzeichen für größere Inhomogenitäten, der Lokalisierung von Störungszonen und Fremdgesteinseinschlüssen im Wirtsgesteinskörper. Eine Verbesserung der Datenqualität konnte nicht erzielt werden.

NAGRA (1997)

Qualität: 1 Quantität: 2

B3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Formation Micro Scanner (FMS/FMI) und Sonic Televiewer (BHTV/UBI) Logs zur Bohrkernorientierung und strukturgeologischen Auswertung. In ungestörten Abschnitten ist die Qualität gut, in gestörten Bereichen jedoch durch Bohrlochausbrüche beeinträchtigt.

Korrelation von petrophysikalischen und struktureologischen Daten zur Interpretation lokaler Untergrundstrukturen. Die Korrelation petrophysikalischer Einheiten war z.T. über mehrere 100 m möglich, lieferte aber keine Aussagen zur Schichtausprägung z.B. zur Kontinuität. NAGRA (1997)

Das stratigraphische Dipmeter (SHDT) nutzt hochauflösende Widerstandsmessungen zur Ermittlung der räumlichen Lage von Schichtflächen. Das akustische Borehole Televiwer Log (BHTV bzw. Sonic Televiwer) verwendet Ultraschallabtastung in Kombination mit einem Orientierungssystem, um ein akustisches Bild der Beschaffenheit der Bohrlochwand zu ermitteln und so orientierte Schichtgrenzen und Diskontinuitäten abzubilden. Es ist wesentlich genauer als bis dato (1989) bekannte mechanische Kernorientierungsmethoden. Das Bohrlochabweichungs-Log (BGL bzw. GPIT) misst die räumliche Lage der Bohrspur. Generelle Ziele dieses strukturellen Logging sind Informationen zur Untergrundstruktur, wie Streichen und Fallen von planaren Diskontinuitäten sowie Neigungen von Schichtgrenzen zu erhalten, v.a. dort, wo kein Kernmaterial gewonnen werden kann.

NAGRA (1989)

Qualität: 3 Quantität: 2

B3.4 Geol. Kartierung

Bei der unter B1.4 beschriebenen Kartierung im Maßstab 1 : 10.000 wurden auch tektonische Strukturen aufgenommen und eingemessen.

NAGRA (1997)

Qualität: 2 Quantität: 3

B3.5 Bohrungen

Die Bildung des helvetischen Deckenstapels war mit mehreren Deformationsphasen verbunden, wobei die Art der Deformation und somit die resultierenden Strukturelemente von den vorherrschenden Druck- und Temperaturbedingungen, der Deformationsrate und der Lithologie abhängen.

Untersucht wurden:

- sedimentäre Strukturen
- Strukturen der duktilen Deformation
- Kalkbankabfolgen
- spröde Strukturelemente

Die geologische Aufnahme dieser Strukturen ist insbesondere für die Interpretation potenzieller Wegsamkeiten sowie als mechanische Schwächezonen von Bedeutung (NAGRA, 1997). Sowohl in den Bohrungen als auch an Oberflächenaufschlüssen konnten spröde Strukturelemente aufgenommen und eingemessen werden:

- Scherdeformation
 - Verschiebungsfläche (< 0,1 m)
 - Störung: klein (0,1 - 0,5 m); groß (0,5 - 10 m)
- Risse / Haarrisse (< 1 mm mächtige Trennbrüche)
- Klüfte und Kluftsysteme

Insgesamt wurden in den 7 Bohrungen ca. 4.440 Kernmeter bezüglich des teufenabhängigen Auftretens größerer Störungen sowie deren Raumlagen (nach Kernabwicklung) ausgewertet.

Qualität: 3 Quantität: 2

B3.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B3.7 Feldmessungen - Geochemie

B3.8 Feldmessungen - Geomechanik

B3.9 Labor

B3.10 Untertage Geophysik

B3.11 Untertage geol. Kartierung

B3.12 Untertage Bohrungen

B3.13 Untertage In-situ-Messungen

B3.14 Untertage Labor

B4 Mikro-Struktur

B4.1 Fernerkundung

B4.2 Geophysik (übertägig)

B4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B4.4 Geol. Kartierung

B4.5 Bohrungen

B4.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B4.7 Feldmessungen - Geochemie

B4.8 Feldmessungen - Geomechanik

B4.9 Labor

B4.10 Untertage Geophysik

B4.11 Untertage geol. Kartierung

B4.12 Untertage Bohrungen

B4.13 Untertage In-situ-Messungen

B4.14 Untertage Labor

B5 In-situ-Spannungsverhältnisse

B5.1 Fernerkundung

B5.2 Geophysik (übertägig)

B5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Siehe B1.3. und A4.3

Kaliberlog (CAL) zur Bestimmung des Bohrlochdurchmessers zur Standfestigkeit der jeweiligen Formation im Bohrloch und zur Bestimmung der Gebirgsspannungsrichtung.

NAGRA (1997)

Qualität: 2 Quantität: 2

B5.4 Geol. Kartierung

B5.5 Bohrungen

B5.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B5.7 Feldmessungen - Geochemie

B5.8 Feldmessungen - Geomechanik

Direkte Informationen über das rezente Spannungsfeld wurden von der Oberfläche aus mittels Hydrofracverfahren in den Bohrungen SB1, SB2, SB3 und SB4a/v gewonnen.

Zur Interpretation des räumlichen Spannungsfeldes liegen weiterhin Informationen aus Messungen der Bohrlochstabilität (Bohrlochrandausbrüche) und der Analyse von induzierten Rissneubildungen aus den vorher genannten Bohrungen sowie der Bohrung SB4a/s vor (NAGRA, 1997).

Anzumerken ist, dass das Hydrofracverfahren in erster Linie nur für die minimale Spannung (S_h) zuverlässige Bestimmungen erlaubt, während die Angaben für S_H weniger belastbar sind.

In Übereinstimmung mit 3D-Modellierungen des Grundspannungszustandes wurden im geplanten Einlagerungshorizont des Wellenbergs eine maximale horizontale Spannung (S_H) von 20 MPa sowie eine minimale Spannung (S_h) von 9 MPa gemessen. Die aus der vertikalen Auflast abgeleitete vertikale Spannungskomponente (S_v) beträgt ca. 11 MPa.

NAGRA (1997)

Qualität: 1 - 2 Quantität: 2

Qualität 1 - 2, da nicht alle gesuchten Informationen mit ausreichender Genauigkeit gewonnen werden konnten.

Für einen Vergleich der in Bohrlöchern gemessenen Spannungswerte mit dem Hydrofracverfahren (vgl. B5.5) liegen Ergebnisse numerischer geomechanischer Modellrechnungen vor (TE KAMP et al., 1999). Deren Ziel bestand darin, in einer Synthese der vorliegenden Messdaten und den tektonischen Gegebenheiten den Gesamtspannungszustand des Gebietes zu erklären. Als Ergebnis wurde nachgewiesen, dass zusätzlich zu den rein gravitativen Rahmenbedingungen auch eine tektonische Komponente (Schubrichtung 135°) wirksam sein muss.

NAGRA (1997)

Qualität: 2 Quantität: 1

Abwertung der Qualität, da experimentelle Datenbasis noch als unsicher einzustufen ist.

B5.9 Labor

B5.10 Untertage Geophysik

B5.11 Untertage geol. Kartierung

B5.12 Untertage Bohrungen

B5.13 Untertage In-situ-Messungen

B5.14 Untertage Labor

B6 Mineralogie

B6.1 Fernerkundung

B6.2 Geophysik (übertägig)

B6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Siehe B1.3

Der photoelektrische Faktor (PEF) wurde hier zusammen mit dem Tongehalt zur Abschätzung des Quarz- und Kalkanteils verwandt, was sich durch gute Übereinstimmung mit Laborwerten an Kernproben als geeignete Methode herausstellte.

Kompressionswellengeschwindigkeit aus Sonic-Log-Daten (SDT-AS, BHC) als Tonindikator. Natürliche Gammastrahlungsintensität (SGR) als Maß für den Tongehalt in Sedimenten. Messungen des natürlichen Gammaskpektrums (NGT) ($^{40}\text{K}=\text{POTA}$, $^{232}\text{Th}=\text{THOR}$, $^{238}\text{U}=\text{URAN}$) zur Ermittlung der Konzentration und Verteilung von Kalium, Thorium und Uran zur Bestimmung des Tongehalts und der Tonmineralogie. Anhand der Tonindikatoren SGR, POTA, NPHI, v_p wurde der Tongehalt berechnet und aus diesem und dem photoelektrischen Faktor (PEF) der Kalk- und Quarzgehalt abgeschätzt. Zusammen mit dem spezifischen elektrischen Widerstand ermöglicht dies eine gute lithologische Unterscheidung von Kalk und Mergel. Die Berechnung von Tongehalten aus Messwerten erwies sich jedoch im Vergleich zu Laborversuchen als weniger exakt.

NAGRA (1997)

Qualität: 2 Quantität: 2

Qualität 2, da nicht alle gesuchten Informationen mit ausreichender Genauigkeit gewonnen werden konnten.

B6.4 Geol. Kartierung**B6.5 Bohrungen****B6.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B6.7 Feldmessungen - Geochemie****B6.8 Feldmessungen - Geomechanik****B6.9 Labor**

Mineralogisch-petrographische und geochemische Laboruntersuchungen wurden sowohl an Gesamtgesteinsproben als auch an Kluft- und Drusenmaterial durchgeführt. Die mineralogische Gesamtgesteinszusammensetzung ist in allen Lithologien formationsübergreifend ähnlich und umfasst im Wesentlichen Karbonate, Quarz und Feldspäte sowie Tonminerale, Pyrit und organische Bestandteile. Weiterhin wurden detaillierte Untersuchungen und Interpretationen von Fluideinschlüssen vorgenommen. Bezogen auf das potenzielle Wirtsgestein wurden quantitativ 210 Proben untersucht, wobei von 97 Proben auch der Tonmineralbestand bestimmt wurde.

NAGRA (1997)

Qualität: 2 Quantität: 2

B6.10 Untertage Geophysik**B6.11 Untertage geol. Kartierung****B6.12 Untertage Bohrungen****B6.13 Untertage In-situ-Messungen****B6.14 Untertage Labor****B7 Petrophysikalische Eigenschaften****B7a Gesteinsmechanik****B7a.1 Fernerkundung****B7a.2 Geophysik (übertägig)****B7a.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

Siehe B1.3

Sonic-Log (SDT-AS, BHC): Ermittlung der Kompressions- und Scherwellengeschwindigkeiten (v_s , v_p), welche zusammen mit Dichteangaben zur Berechnung von Kompressionsmodul, Schermodul, Youngsmodul und Poissonverhältnis als Maß für die elastischen Gesteinseigenschaften verwendet wird.

NAGRA (1997)

Qualität: 2 Quantität: 2

B7a.4 Geol. Kartierung**B7a.5 Bohrungen****B7a.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7a.7 Feldmessungen - Geochemie****B7a.8 Feldmessungen - Geomechanik**

In drei Bohrungen (SB1, SB3 und SB4a/v) erfolgten Dilatometermessungen, wobei die Aufweitung des Bohrlochs als Funktion des Packerdruckes gemessen wird. Je Bohrung wurden zwischen 4 und 7 Messungen durchgeführt. Ebenfalls in den drei Bohrungen sowie der Bohrung SB2 wurden in Teufen zwischen 200 und 1.100 m Hydrofracmessungen durchgeführt.

NAGRA (1997)

Qualität: 2 Quantität: 2

B7a.9 Labor

Zielsetzung des felsmechanischen Untersuchungsprogramms war die Bestimmung felsmechanischer Parameter für bautechnische Belange. Neben der Bestimmung allgemeiner probenspezifischer Parameter wie Dichte, Porosität und Wassergehalt sowie chemischer und mineralogischer Analysen wurden folgende Versuche durchgeführt:

- Spaltzugversuch
- einaxialer Druckversuch
- triaxialer Druckversuch bei Manteldrücken bis 30 MPa
- Quell- und Quelldruckversuche
- Kriechversuche
 - Deformationsexperimente bei konstanter Verformungsrate
 - Relaxationsversuche bei konstanter Verformung
 - Kriechversuche bei konstantem Differenzdruck
- Scherversuche

Als Probenraster wurde in den relevanten Untersuchungshorizonten je 10 Kernmeter ein Festigkeitsversuch durchgeführt. Bei den als Tonmergelgesteinen angesprochenen Proben wurden Anisotropieeffekte bezgl. der Foliation berücksichtigt.

Auf der Basis von ca. 50 Triaxialfestigkeitsversuchen bis zu einer maximalen Einspannung von $\sigma_3 = 90$ MPa wurde ein bilinearer Mohr-Coulomb-Parametersatz gewonnen, wobei sich aber für die verschiedenen Gesteinsgruppen mit Ton-, Kalk oder Sandmergeln keine eindeutige Trennung ergab.

Die Auswertung der Kriechversuche, mit dem Ziel, die Abhängigkeit der Wirtsgesteinseigenschaften in Abhängigkeit von der Verformungsrate beschreiben zu können, erbrachte nur einen geringen Effekt einer Festigkeitsabminderung gegenüber den Kurzzeitfestigkeiten. Im Ergebnis der felsmechanischen Untersuchungen konnten die notwendigen Parameter für die bautechnische Bewertung bezüglich der Machbarkeit einer Hohlraumerstellung in der zu untersuchenden Wirtsgesteinsformation bestimmt werden. Die komplexen thermo-hydro-mechanischen Wechselwirkungen werden dabei aber nicht berücksichtigt.

NAGRA (1997)

Qualität: 1 - 2 Quantität: 2

Es wurden nur bautechnische Gesichtspunkte berücksichtigt, keine Wechselwirkung zwischen Abfallgebinden und Wirtsgestein.

B7a.10 Untertage Geophysik**B7a.11 Untertage geol. Kartierung****B7a.12 Untertage Bohrungen****B7a.13 Untertage In-situ-Messungen****B7a.14 Untertage Labor****B7b Hydraulisch (z. B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)****B7b.1 Fernerkundung****B7b.2 Geophysik (übertägig)****B7b.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

Siehe B1.3

Spezifischer elektrischer Widerstand (LLD, MSFL) als Indikator für Porosität, Permeabilität und Porenfüllung. Gamma-Gamma Dichte Log (LDT), welches über die Messung der Absorption künstlicher Gammastrahlung als Maß für die Bruttodichte der Formation (RHOB) dient. Die hier durchgeführten Untersuchungen zeigten eine sehr gute Übereinstimmung von Labor- und Bohrlochmessungen bis auf Abweichungen in Auskesselungsbereichen (schlechter Kontakt Bohrlochwand-Sonde).

Neutronenporosität (NPHI) und Neutron-Gamma-Porosität (CNT) als Maß für den Wasserstoffgehalt der Formation als Indikator für freies Porenwasser und an Tonminerale gebundenes Wasser. Bei Korrektur um den Tongehalt auch zur Abschätzung der effektiven Porosität nutzbar, was sich hier jedoch durch Vergleich mit Laborwerten als nicht verlässliche Methode erwies, da bei geringen Porositäten das in den Tonmineralen gebundene Wasser zu Verfälschungen führen kann. Kompressionswellengeschwindigkeit aus Sonic-Log-Daten (SDT-AS, BHC) als Porositätsindikator. Self-Potential Log (SP) zur Unterscheidung der Permeabilitäten. NAGRA (1997)

NAGRA (1989)

Qualität: 2 Quantität: 2

B7b.4 Geol. Kartierung

B7b.5 Bohrungen

B7b.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7b.7 Feldmessungen - Geochemie

B7b.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7b.9 Labor

An ca. 120 Proben von Gesteinen vom Wellenberg wurden mittels Quecksilberporosimetrie Makro- (Porenradius > 7,5 µm) und Mikroporositäten (Porenradius < 7,5 µm) sowie die Dichte bestimmt.

NAGRA (1997)

Qualität: 1 Quantität: 2

Die Problematik der Porositätsbestimmung in Tonsteinen ausschließlich mittels der Hg-Porosimetrie wird in NTB (2002) ausführlich diskutiert.

B7b.10 Untertage Geophysik

B7b.11 Untertage geol. Kartierung

B7b.12 Untertage Bohrungen

B7b.13 Untertage In-situ-Messungen

B7b.14 Untertage Labor

B7c Diffusion

B7c.1 Fernerkundung

B7c.2 Geophysik (übertägig)

B7c.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7c.4 Geol. Kartierung

B7c.5 Bohrungen

B7c.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7c.7 Feldmessungen - Geochemie

B7c.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7c.9 Labor

Aus Kernproben wurden im Labor Edelgase (d.h. Helium, Argon) extrahiert und gemessen. Auf Basis einer Prognose der langfristig in situ produzierten Heliumraten und den vorhandenen Gehalten können mutmaßliche Diffusions- und/oder Advektionseffekte, die zu einem Abtransport von Helium geführt haben, abgeschätzt werden. Hierfür wurden Modellrechnungen durchgeführt.

NAGRA (1997)

Qualität: 1 - 2 Quantität: 1 (vorläufige Ergebnisse und Interpretation)

B7c.10 Untertage Geophysik

B7c.11 Untertage geol. Kartierung

B7c.12 Untertage Bohrungen

B7c.13 Untertage In-situ-Messungen

B7c.14 Untertage Labor

B7d Thermisch

B7d.1 Fernerkundung

B7d.2 Geophysik (übertägig)

B7d.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7d.4 Geol. Kartierung

B7d.5 Bohrungen

B7d.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7d.7 Feldmessungen - Geochemie

B7d.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7d.9 Labor

B7d.10 Untertage Geophysik

B7d.11 Untertage geol. Kartierung

B7d.12 Untertage Bohrungen

B7d.13 Untertage In-situ-Messungen

B7d.14 Untertage Labor

B7e THMC-Kopplung

B7e.1 Fernerkundung

B7e.2 Geophysik (übertägig)

B7e.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7e.4 Geol. Kartierung

B7e.5 Bohrungen

B7e.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7e.7 Feldmessungen - Geochemie

B7e.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7e.9 Labor

B7e.10 Untertage Geophysik

B7e.11 Untertage geol. Kartierung

B7e.12 Untertage Bohrungen

B7e.13 Untertage In-situ-Messungen

B7e.14 Untertage Labor

B7f Chemische Eigenschaften (z. B. Oxidation, Adsorption)

B7f.1 Fernerkundung

B7f.2 Geophysik (übertägig)

B7f.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**B7f.4 Geol. Kartierung****B7f.5 Bohrungen****B7f.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7f.7 Feldmessungen - Geochemie****B7f.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7f.9 Labor****B7f.10 Untertage Geophysik****B7f.11 Untertage geol. Kartierung****B7f.12 Untertage Bohrungen****B7f.13 Untertage In-situ-Messungen****B7f.14 Untertage Labor*****C Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)*****C1 Hydraulisch wirksame Einheiten****C1.1 Fernerkundung****C1.2 Geophysik (übertägig)****C1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

Über die Messung von Temperatur und Leitfähigkeit mit Fluid-Logs ist die Tiefe von Wasserzufluss-Punkten zur Identifizierung wasserführender Schichten möglich und eine Häufigkeitsverteilung der Zuflüsspunkte darstellbar. In tiefen Bereichen nimmt die Ablesegenauigkeit ab und das Rauschen zu. Durch räumliche Korrelation von petrophysikalischen Einheiten aus Bohrloch-Logs zwischen 3 benachbarten Bohrlöchern sollten Hinweise auf die gesteinsbedingte Geometrie der Fließwege erhalten werden. Als Ergebnis konnte mit dieser Methode v.a. die größerräumige Geometrie von Kalkbankfolgen ermittelt werden, da diese eine charakteristische Signatur in den Logs erzeugen. NAGRA (1997)

High Resolution Temperature Logs (HRT bzw. T), um anhand lokaler Änderungen der Spülungstemperatur auf Wasserzuflüsse zu schließen. Spülungsleitfähigkeits-Logs (MRES bzw. LF), um anhand der Änderung der Leitfähigkeit auf Zuflüsse von Wässern mit anderer Salinität zu schließen. Die Auflösung liegt im cm-Bereich. Eine zeitliche Aufnahme ermöglicht Rückschlüsse auf Zuflussmenge und Durchlässigkeit der Gesteinsschichten. Der Continuous Flowmeter Log (FM) ist zur Registrierung der Fließgeschwindigkeiten der Bohrspülung ab ≥ 5 l/min geeignet, das Packer Flowmeter (PFM), um mittlere bis kleine Zuflussraten ab $\geq 0,2$ l/min zu bestimmen. Generelle Ziele des Fluid Logging sind die Lokalisierung und Charakterisierung von Wasserflüssen, um so Informationen zu Fließbewegungen zu erhalten (Zuflussmenge, Formationsdurchlässigkeit).

NAGRA (1989)

Qualität: 3 Quantität: 2

C1.4 Geol. Kartierung**C1.5 Bohrungen**

Es wurden 18 Piezometerbohrungen abgeteuft.

NAGRA (1997)

Qualität: 2 Quantität: 2

C1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

Regional wurden ab 1987 an 662 Quellen und 19 Grundwassermessstellen im Tal periodisch Messungen durchgeführt. Die Messintervalle liegen zwischen wöchentlich und 1-mal pro Jahr. Gemessen wurden die Schüttung von Quellen und Drainagen bzw. der Abstich in Piezometern, Grundwasserfassungen etc.

Fünf oberflächennahe GWM wurden für kontinuierliche Registrierungen der Schüttung und des Grundwasserspiegelstands ausgewählt.

Durch Messungen von Temperatur und elektr. Leitfähigkeit im Bohrloch (Fluid Logging) werden Zuflusspunkte identifiziert. In den 7 Wellenbergbohrungen konnten so insgesamt 163 Zuflusspunkte ermittelt werden.

NAGRA (1997)

Qualität: 1 Quantität: 2

C1.7 Feldmessungen - Geochemie**C1.8 Feldmessungen - Geomechanik****C1.9 Labor****C1.10 Untertage Geophysik****C1.11 Untertage geol. Kartierung****C1.12 Untertage Bohrungen****C1.13 Untertage In-situ-Messungen****C1.14 Untertage Labor****C2 Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein****C2.1 Fernerkundung****C2.2 Geophysik (übertägig)****C2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C2.4 Geol. Kartierung****C2.5 Bohrungen****C2.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

Langzeit-Druckspiegelbeobachtungen wurden mit Druckaufnehmern in tiefen Grundwässern in den 7 Bohrungen an 25 abgepackerten Intervallen durchgeführt und regelmäßig kontrolliert.

NAGRA (1997)

Qualität: 3 Quantität: 1

Fünf oberflächennahe GWM wurden für kontinuierliche Registrierungen der Schüttung und des Grundwasserspiegels ausgewählt.

NAGRA (1997)

Qualität: 1 Quantität: 1

Siehe C3.6

Qualität: 3 Quantität: 2

C2.7 Feldmessungen - Geochemie**C2.8 Feldmessungen - Geomechanik**

C2.9 Labor**C2.10 Untertage Geophysik****C2.11 Untertage geol. Kartierung****C2.12 Untertage Bohrungen****C2.13 Untertage In-situ-Messungen****C2.14 Untertage Labor****C3 Fließ- und Speicherparameter****C3.1 Fernerkundung****C3.2 Geophysik (übertägig)****C3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

Die Korrelation petrophysikalischer Parameter mit den hydraulischen Eigenschaften des Untergrundes ergab z.T. eine gute Korrelation zwischen Transmissivität und Kompressionswellen-Geschwindigkeiten (v_s und v_p).

Mittels Fluid-Logging wurden diskrete Zuflussstellen entlang der Bohrlochstrecke identifiziert, welche als wasserführende Systeme interpretiert wurden. Außerdem können die Transmissivität der Zuflussstellen und z.T. hydrochemische Informationen ermittelt und z.B. als Transmissivitätsprofile dargestellt werden. Zusätzlich kann eine Kombination mit strukturgeologischen Bohrlochdaten erfolgen, um das Wirtsgestein hinsichtlich seiner hydraulischen Eigenschaften zu charakterisieren. Hier wurden in 7 Sondierungsbohrungen 16 Logging-Kampagnen durchgeführt, wobei Bohrabschnitte erhöhter Transmissivität mit diskreten wasserführenden Systemen korrelieren. Die messtechnische Detektionsgrenze des Fluid-Loggings variiert je nach Bohrung z.T. auch innerhalb einer Bohrung, was die Unsicherheit v.a. in gering durchlässigen, tieferen Bereichen erhöht und zu einer Unterschätzung der Zuflussfrequenz (Anzahl: Länge) führen kann.

NAGRA (1997)

Qualität: 2 Quantität: 2

Qualität 2 wegen Unsicherheiten in der Aussage.

C3.4 Geol. Kartierung**C3.5 Bohrungen****C3.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

Insgesamt wurden in Tiefengrundwässern 169 hydraulische Packertests und an den 7 Bohrungen 16 Fluid Logging-Kampagnen durchgeführt.

Bei den Packertests wurden folgende Parameter bestimmt:

- lokales Fließmodell des abgepackerten Bohrlochintervalls
- Formationstransmissivität
- natürliche ungestörte Druckhöhe
- Zweiphasenflussparameter
- Chemie von Wasser- und Gasproben

Dabei kommen je nach Erfordernissen Einfach- oder Doppelpacker zum Einsatz. NAGRA (1996)

2 bis 3 Packertests wurden während der Bohrungspausen alle 100 bis 150 m durchgeführt. Gezielte Doppelpackertests wurden in 3 bis 20 m langen Abschnitten durchgeführt. In gering durchlässigen Bereichen wurden Puls-Tests eingesetzt, die jedoch nur eine begrenzte Reichweite haben.

NAGRA (1997)

Qualität: 3 Quantität: 2

C3.7 Feldmessungen - Geochemie

C3.8 Feldmessungen - Geomechanik

C3.9 Labor

C3.10 Untertage Geophysik

C3.11 Untertage geol. Kartierung

C3.12 Untertage Bohrungen

C3.13 Untertage In-situ-Messungen

C3.14 Untertage Labor

C4 Zwei-Phasenflussparameter

C4.1 Fernerkundung

C4.2 Geophysik (übertägig)

C4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

C4.4 Geol. Kartierung

C4.5 Bohrungen

C4.6 Feldmessungen - Geohydraulik

10 Packertests in tiefen Grundwässern wurden zur Ermittlung von Zweiphasenflussparametern durchgeführt.

NAGRA (1997)

Qualität: 3 Quantität: 1

C4.7 Feldmessungen - Geochemie

C4.8 Feldmessungen - Geomechanik

C4.9 Labor

C4.10 Untertage Geophysik

C4.11 Untertage geol. Kartierung

C4.12 Untertage Bohrungen

C4.13 Untertage In-situ-Messungen

C4.14 Untertage Labor

D Hydrochemie

D1 Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)

D1.1 Fernerkundung

D1.2 Geophysik (übertägig)

D1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

D1.4 Geol. Kartierung

D1.5 Bohrungen

D1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

D1.7 Feldmessungen - Geochemie

D1.8 Feldmessungen - Geomechanik

D1.9 Labor

^3H wurde in den Proben von 7 Quellen sowie von Tiefbohrungen (~25 Proben) analysiert.

NAGRA (1997)

Qualität: 3 Quantität: 3

$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ und $^2\text{H}/^1\text{H}$ wurden in den Quellenproben, Proben der Tiefbohrungen (~27) sowie in 15 Wasserproben extrahiert von Kernen der SB4a/s analysiert.

NAGRA (1997)

Qualität: 3 Quantität: 2

^{14}C und $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ wurden in Proben von 5 Quellen sowie in 16 Proben von Tiefbohrungen analysiert.

NAGRA (1997)

Qualität: 3 Quantität: 2

D1.10 Untertage Geophysik**D1.11 Untertage geol. Kartierung****D1.12 Untertage Bohrungen****D1.13 Untertage In-situ-Messungen****D1.14 Untertage Labor****D2 Porenwasserchemismus****D2.1 Fernerkundung****D2.2 Geophysik (übertägig)****D2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D2.4 Geol. Kartierung****D2.5 Bohrungen****D2.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D2.7 Feldmessungen - Geochemie**

In oberflächennahen Grundwässern wurden spezifische elektr. Leitfähigkeit, pH-Wert und z.T. Sauerstoffgehalt und -sättigung gemessen.

27 Wasserproben wurden von Tiefbohrungen genommen. Meist wurden elektr. Leitfähigkeit, pH, Eh sowie Temperatur an der Oberfläche gemessen.

NAGRA (1997)

Qualität: 3 Quantität: 2

D2.8 Feldmessungen - Geomechanik**D2.9 Labor**

23 Packertests wurden zur Gewinnung von Wasser- und Gasproben genutzt und Wasserproben (20) von Piezometern analysiert.

NAGRA (1997)

Qualität: 3 Quantität: 1 (gelöste Hauptsubstanzen)

27 Wasserproben wurden von den Tiefbohrungen genommen und analysiert. Tracergehalte wiesen Spülungskontamination von > 1 bis < 10% (meist zwischen 1 und 5%) nach.

MAZUREK et al. (1998); PEARSON & SCHOLTIS (1995)

Qualität: 3 Quantität: 2 (gelöste Hauptsubstanzen)
Qualität: 3 Quantität: 2 (redoxempfindliche gelöste Substanzen)
Qualität: 3 Quantität: 2 (Spurenelemente)
Qualität: 3 Quantität: 2 (gelöste Gase)

D2.10 Untertage Geophysik**D2.11 Untertage geol. Kartierung****D2.12 Untertage Bohrungen****D2.13 Untertage In-situ-Messungen****D2.14 Untertage Labor****D3 Transporteigenschaften****D3.1 Fernerkundung****D3.2 Geophysik (übertägig)****D3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D3.4 Geol. Kartierung****D3.5 Bohrungen****D3.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D3.7 Feldmessungen - Geochemie****D3.8 Feldmessungen - Geomechanik****D3.9 Labor****D3.10 Untertage Geophysik****D3.11 Untertage geol. Kartierung****D3.12 Untertage Bohrungen****D3.13 Untertage In-situ-Messungen****D3.14 Untertage Labor****D4 Kolloide usw.****D4.1 Fernerkundung****D4.2 Geophysik (übertägig)****D4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D4.4 Geol. Kartierung****D4.5 Bohrungen****D4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D4.7 Feldmessungen - Geochemie****D4.8 Feldmessungen - Geomechanik****D4.9 Labor**

Kolloide wurden in 2 Wasserproben von Quellen untersucht. Es erfolgten Filterung, Zählung sowie chemische Analyse.

NAGRA (1997)

Qualität: 3 Quantität: 1

D4.10 Untertage Geophysik**D4.11 Untertage geol. Kartierung****D4.12 Untertage Bohrungen****D4.13 Untertage In-situ-Messungen****D4.14 Untertage Labor****ZITATE**

(Die mit * gekennzeichneten Zitate befinden sich auf dem beiliegenden Datenträger.)

*MAZUREK, M., LANYON, G. W., VOMVORIS, S. & GAUTSCHI, A. (1998): Derivation and application of a geologic dataset for flow modelling by discrete fracture networks in low-permeability argillaceous rocks. J. Contaminant Hydrology, 35, 1-17.

*MAZUREK, M. (1999): Evolution of gas and aqueous fluid in low-permeability argillaceous rocks during uplift and exhumation of the central Swiss Alps. Applied Geochemistry, 15, 211-234.

NAGRA (1989): Wellenberg Arbeitsprogramm Teil 1 für Untersuchungen von der Erdoberfläche aus und Sondierbohrungen SB 1, 3 & 4: Technischer Bericht 89-12, 139 S.

NAGRA (1997): Geosynthese Wellenberg 1996 - Ergebnisse der Untersuchungsphasen I und II, September 1997, Textband sowie Anlagen und Beilagenband, Technischer Bericht 96-01, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Wettingen (CH).

*PEARSON, F. J. JR. & SCHOLTIS, A. (1995): Controls on the chemistry of pore water in a marl of very low permeability. In: Water-Rock Interaction (Eds. Y. Kharaka & I Chudaev), Balkema, Rotterdam, p 35-38.

TE KAMP, L., KONIETZKY, H. & BLÜMLING, K. (1999): WLB: Three-Dimensional Calibrated Stress Field Modelling for the Planned Wellenberg Repository in Switzerland, in Numerical Models in Geomechanics (Proceedings of the VII International NUMOG Symposium, Graz, March 1999), pp. 385-390. Rotterdam: Balkema, 1999. [Hinweis: über Bibliothek zu beziehen]

WELLENBERG		Erkundungs- methoden: 1-9 übertägig 10-14 untertägig	Fernerkundung	Geophysik (übertägig)	Geophysik (im Bohrloch)	Geol. Kartierung	Bohrungen	Feldmessungen - Geohydraulik	Feldmessungen - Geochemie	Feldmessungen - Geomechanik	Labor	Geophysik	geologische Kartierung	Bohrungen	In-situ- Messungen	Labor
Inhalte der Themenkomplexe		Bezeichnungen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Regionale Geologie (20 km*20 km)																
Wirtsgestein / Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)	A1															
Stratigraphie	A2															
Strukturgeologie und Tektonik (Störungsmuster, Faltung)	A3															
Regionales Spannungsfeld	A4															
Temperatur und Wärmeleitfähigkeit	A5															
Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z.B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)	A6															
Rohstoffvorkommen	A7															
Eigenschaften des Wirtsgesteins und des Deckgebirges am Standort																
Lithologie	B1															
Geometrie (Tiefenlage, Ausdehnung)	B2															
Makro-Struktur (Großgefüge: Störungen / Faltungen / Deformationen / Klüfte)	B3															
Mikro-Struktur (Korngefüge / Porenstruktur)	B4															
In-situ-Spannungsverhältnisse	B5															
Mineralogie	B6															
Petrophysikalische Eigenschaften (Probenmaßstab):																
Gesteinsmechanik (z.B. Festigkeit, Kriechen)	B7a															
Hydraulik (z.B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)	B7b															
Diffusion	B7c															
Thermik	B7d															
THMC-Kopplung	B7e															
Chemismus (z.B. Oxidation, Adsorption)	B7f															
Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)																
Hydraulisch wirksame Einheiten	C1															
Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein	C2															
Fließ- und Speicherparameter	C3															
Zwei-Phasenfluss-Parameter	C4															
Hydrochemie																
Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)	D1															
Porenwasserchemismus	D2															
Transporteigenschaften	D3															
Kolloide usw.	D4															
		Erkundungsaktivität														

Anhang 7

Dokumentation -
internationale Standorte im
Kristallin

Standort:	Bátaapáti (Ungarn) - Uveghuta-Region
Name - Typ:	Bátaapáti - geplantes Endlager für LAW/MAW (in der Auffahrung)
Lage:	in der Nähe der Ortschaft Bátaapáti (160 km SW von Budapest) in der Weinregion Szekszard
Betreiber:	PURAM (Staatliche ungarische Organisation, zuständig für die Entsorgung radioaktiver Abfälle)
Fläche:	zur weiteren Erkundung ausgewiesene Fläche ca. 83 ha
Erschließung/ Teufenlage:	<p>Vorgesehen ist die Errichtung des Endlagers in einer Teufe von 270 m, was einer überlagernden Wirtsgesteinsmächtigkeit von etwa 200 m entspricht.</p> <p>Nach einem übertägigen Untersuchungsprogramm (u.a. Bohrungen) Auffahrung von zwei ca. 1.700 m langen leicht geneigten Tunneln (Querschnitt ca. 21 m² - Fertigstellung Mitte 2008).</p>
Geologie:	<p>Das vorgesehene Wirtsgestein ist kambrisches Kristallin - Monzanit bzw. Monzogranit (die sogenannte Mórági-Granitformation); es hat sich gezeigt, dass sich ausgeprägte hydraulische Kompartimente in den Festgesteinen gebildet haben. Die Überlagerung besteht überwiegend aus quaritären Sedimenten bzw. tertiären Ablagerungen.</p> <p>Die kristallinen Gesteine zusammen mit den darüber lagernden Lössschichten bilden ein Hochlandgebiet. Die Geländehöhe steigt südlich des Standortes an; hier hat sich eine Wasserscheide gebildet. Westlich, nördlich und östlich des Standortes befinden sich Täler. In den sonst lößbedeckten Bereichen verlaufen diese Täler an oder in der verwitterten Oberfläche des kristallinen Gesteins.</p>
Historie:	<p>Auf Basis eines im Jahr 1993 durchgeführten Untersuchungsprogrammes zur Standortauswahl für ein Endlager für radioaktive Abfälle, bei dem 128 Standorte in oberflächennahen bzw. 193 in tiefen geologischen Formationen miteinander verglichen wurden, erfolgte eine Auswahl von vier Standorten, von denen wiederum drei intensiver erkundet wurden. Auf Basis dieser Ergebnisse schien die Granit-Option am besten geeignet, wobei ein oberflächennaher Standort als Reserveoption bewertet wurde.</p> <p>Die erste Erkundungsbohrung in der Region Bátaapáti wurde im Jahr 1996 niedergebracht, etwa 1,5 km südlich der aktuellen Erkundungsfläche. Im Zeitraum von 1997 bis 1999 erfolgten weitere intensive geologische Erkundungsmaßnahmen, die geeignete Gebiete für weitere Erkundungen festlegten. Die Ergebnisse der Erkundungsmaßnahmen bis einschließlich 2003 bildeten die Basis der Beurteilung der geologischen Eignung des Standortes bzw. der Festlegung der aktuellen Erkundungsfläche.</p> <p>Ende 2005 wurden die vorläufigen Ergebnisse der geologischen Erkundung der zuständigen Genehmigungsbehörde vorgelegt, die Anfang 2006 die Erlaubnis zur Fortführung der Arbeiten erteilte.</p> <p>Es wurde die Entscheidung getroffen, mit dem Vortrieb von zwei Tunneln die Möglichkeit für unterirdische Erkundungsmaßnahmen zu schaffen. Weitere übertägige Erkundungsmaßnahmen erfolgten im nachfolgenden Zeitraum bis einschließlich 2007, als sich die Tunnel der Erkundungsfläche näherten.</p>

Bataapati, Ungarn***A Regionale Geologie (20 km x 20 km)*****A1 Wirtsgestein/Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)****A1.1 Fernerkundung****A1.2 Geophysik (übertägig)****A1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A1.4 Kartierung*****A1.4.1 Kartierung des Lockergesteins***

Überarbeitung geologischer Karten der Lockergesteinsbedeckung am Standort Bataapati in einem Bereich von 10 x 10 km durch Abgleich an neuen Bohrungen.

KOLOSZÁR, MARSÍ & CHIKÁN (2000)

Qualität: 1 Quantität: ? (Maßstab unbekannt)

A1.4.2 Geologische Kartierung

Zur Überprüfung und evtl. Korrektur der älteren geologischen Karten und zur Erstellung geologischer Karten im Maßstab 1 : 25.000 auf einer Fläche von 95 km² wurden traditionelle Kartiermethoden angewandt, bei denen z.T. auch petrologische und struktureologische Daten aufgenommen wurden.

CHIKÁN (1997)

Qualität: 2 Quantität: 3

A1.4.3 Kartierung des Untergrundes

Überarbeitung geologischer Karten des abgedeckten Untergrundes am Standort Bataapati in einem Bereich von 10 × 10 km durch Abgleich an neuen Bohrungen.

MARSÍ (2000)

Anlage von zwei Schürfen in der Nähe des Untersuchungsgebietes; BALLA (2004), die Länge von Schurf A1 beträgt 749,57 m, von Schurf A2 757,34 m. Insgesamt wurde mit den Schürfen auf einer Strecke von 1.506,91 m kartiert. Weitere Beschreibung der Schurfkartierung und der Probenahme an den Schürfen.

GYALOG, SZEGŐ & SZIEBERT (2004)

Qualität: 1 Quantität: ? (Maßstab unbekannt)

A1.5 Bohrungen

33 Bohrungen am und im Umfeld des Standortes (ca. 36 km²) mit einer Gesamtteufe von 5.418,51 m; GYALOG & TUNGLI (2000), GYALOG & SZEGO (2004), Beschreibung der Kernaufnahme sowie Log-Messungen und Probenahme.

GYALOG, HAVAS, MAIGUT, MAROS & SZEBÉNYI (2004)

Qualität: 3 Quantität: 1

3 Schachtbrunnen im Lockergestein zur Untersuchung der Infiltrationszone.

GYALOG, SZEGŐ & SZIEBERT (2004)

Qualität: 2 Quantität: 2

A1.6 Feldmessungen - Geohydraulik**A1.7 Feldmessungen - Geochemie**

A1.8 Feldmessungen - Geomechanik**A1.9 Labor****A1.10 Untertage Geophysik****A1.11 Untertage geol. Kartierung****A1.12 Untertage Bohrungen****A1.13 Untertage In-situ-Messungen****A1.14 Untertage Labor****A2 Stratigraphie****A2.1 Fernerkundung****A2.2 Geophysik (übertägig)****A2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A2.4 Geol. Kartierung***A2.4.1 Kartierung des Lockergesteins*

Überarbeitung der stratigraphischen Einstufungen der Lockergesteinsbedeckung in geologischen Karten am Standort Bataapáti in einem Bereich von 10 x 10 km durch Abgleich an neuen Bohrungen.

KOLOSZÁR, MARSI & CHIKÁN (2000)

Qualität: 1 Quantität: ? (Maßstab unbekannt)

A2.4.2 Kartierung des Untergrundes

Stratigraphische Einstufung an zwei Schürfen (1.506,91 m Länge) in der Nähe des Untersuchungsgebietes.

BALLA (2004); GYALOG, SZEGŐ & SZIEBERT (2004)

Qualität: 3 Quantität: ?

A2.5 Bohrungen**A2.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A2.7 Feldmessungen - Geochemie****A2.8 Feldmessungen - Geomechanik****A2.9 Labor****A2.10 Untertage Geophysik****A2.11 Untertage geol. Kartierung****A2.12 Untertage Bohrungen****A2.13 Untertage In-situ-Messungen****A2.14 Untertage Labor****A3 Strukturgeologie und Tektonik****A3.1 Fernerkundung**

A3.2 Geophysik (übertägig)

Reprocessing regionaler archivierter geophysikalischer Daten: zur strukturellen Abgrenzung des Granitkörpers und Bestimmung größerer Strukturen in der weiteren Umgebung

Seismik:

Reprocessing seismischer 2D-Daten

Qualität: 1 Quantität: 1 (angenommen, keine exakte Angabe)

Magnetik:

Reprocessing magnetischer Daten, Karte eines 3D-magnetischen Gradienten, Berechnung eines analytischen magnetischen Signals aus airborne und Land-Magnetik; 2D-Modellierung auf den MT- und Seismik-Profilen.

Qualität: 2 Quantität: 2

Trotz Modellierung nur Qualität 2, da keine flächenhaften Messungen.

Gravimetrie:

Reprocessing gravimetrischer Daten, Bouguer-Anomalien-Karte; 2D-Modellierung auf den MT- und Seismik-Profilen.

Qualität: 2 Quantität: 2

Trotz Modellierung nur Qualität 2, da keine flächenhaften Messungen.

Magneto-Tellurik:

Reprocessing von Magneto-Tellurik-Daten, 2D-Inversion

Qualität: 2 Quantität: 2

Trotz Modellierung nur Qualität 2, da keine flächenhaften Messungen.

A3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**A3.4 Geol. Kartierung**

Während der Kontrollkartierung des Geländes und zur Erstellung geologischer Karten im Maßstab 1 : 25.000 auf einer Fläche von 95 km² wurden u. a. strukturgeologische Daten aufgenommen.

CHIKÁN (1997)

Qualität: 2 Quantität: 3

Im Umfeld der Bohrung Üh1 wurden an einmessbaren Aufschlüssen im Granit (Abschnitte von mind. 10 m Länge, insgesamt auf 104,31 m Länge untersucht) alle Bruchstrukturen aufgenommen. Eingemessen wurden der Abstand zwischen Klüften in cm-Genauigkeit, deren Öffnungsweite in mm-Genauigkeit, Einfallen und Einfallsrichtung von Klüften und Störungen.

MAROS & PALOTÁS (1997)

Qualität: 1 Quantität: ?

A3.5 Bohrungen**A3.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A3.7 Feldmessungen - Geochemie****A3.8 Feldmessungen - Geomechanik****A3.9 Labor****A3.10 Untertage Geophysik****A3.11 Untertage geol. Kartierung****A3.12 Untertage Bohrungen****A3.13 Untertage In-situ-Messungen**

A3.14 Untertage Labor

A4 Regionales Spannungsfeld

A4.1 Fernerkundung

A4.2 Geophysik (übertägig)

A4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A4.4 Geol. Kartierung

A4.5 Bohrungen

A4.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A4.7 Feldmessungen - Geochemie

A4.8 Feldmessungen - Geomechanik

A4.9 Labor

A4.10 Untertage Geophysik

A4.11 Untertage geol. Kartierung

A4.12 Untertage Bohrungen

A4.13 Untertage In-situ-Messungen

A4.14 Untertage Labor

A5 Temperatur und Wärmeleitfähigkeit

A5.1 Fernerkundung

A5.2 Geophysik (übertägig)

A5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A5.4 Geol. Kartierung

A5.5 Bohrungen

A5.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A5.7 Feldmessungen - Geochemie

A5.8 Feldmessungen - Geomechanik

A5.9 Labor

A5.10 Untertage Geophysik

A5.11 Untertage geol. Kartierung

A5.12 Untertage Bohrungen

A5.13 Untertage In-situ-Messungen

A5.14 Untertage Labor

A6 Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z. B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)

A6.1 Fernerkundung

A6.2 Geophysik (übertägig)

A6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A6.4 Geol. Kartierung

A6.5 Bohrungen

A6.6 Feldmessungen - Geohydraulik**A6.7 Feldmessungen - Geochemie****A6.8 Feldmessungen - Geomechanik****A6.9 Labor****A6.10 Untertage Geophysik****A6.11 Untertage geol. Kartierung****A6.12 Untertage Bohrungen****A6.13 Untertage In-situ-Messungen****A6.14 Untertage Labor****A7 Rohstoffvorkommen****A7.1 Fernerkundung****A7.2 Geophysik (übertägig)****A7.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A7.4 Geol. Kartierung****A7.5 Bohrungen****A7.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A7.7 Feldmessungen - Geochemie****A7.8 Feldmessungen - Geomechanik****A7.9 Labor****A7.10 Untertage Geophysik****A7.11 Untertage geol. Kartierung****A7.12 Untertage Bohrungen****A7.13 Untertage In-situ-Messungen****A7.14 Untertage Labor*****B Eigenschaften des Wirtsgesteins und des Deckgebirges am Standort*****B1 Lithologie/Stratigraphie****B1.1 Fernerkundung****B1.2 Geophysik (übertägig)**

Zielsetzung: Kartierung der Granitoberfläche und Charakterisierung der hangenden, ca. 50 m bis 60 m mächtigen, nicht konsolidierten Sedimente.

Geoelektrik/EM:

Vertikale elektrische Sondierungen (VES) mit IRIS Syscal Junior R72 sowie TEM mit Geonics Protem-37-47. Im Zentralgebiet auf regulärem 50 x 50-m-Raster, in der Umgebung auf quasi-regulärem 200 x 200-m-Raster. 1D-Marquardt-Inversion der Daten zur Entwicklung eines Schichtmodells. Die Ergebnisse wurden mit den Resultaten von Bohrlochmessungen verglichen. Multielektroden Widerstandsmessungen mit IRIS Syscal Junior R72 auf einzelnen Profilen (13) zur Verdichtung des bisherigen Rasters der geoelektrischen Sondierungen; 2D-Inversion.

Qualität: 3 Quantität: 3

B1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Messungen an 8 Bohrungen im Lockerstein.

ZILAHÍ-SEBESS, LENDVAY & SZONGOTH (2000)

Messungen an 6 Bohrungen in 4 unterschiedlichen Verwitterungszonen des Granits.

ZILAHÍ-SEBESS, RIGLER & SZONGOTH (2000)

Bestimmung petrographischer Informationen durch bohrlochgeophysikalische Messungen (s. B3.3).

SZONGOTH, ZILAHÍ-SEBESS, & SZÜCSI (2003).

Qualität: 3 Quantität: 3

B1.4 Geol. Kartierung**B1.5 Bohrungen**

Bis 2003 14 gekernte Bohrungen (ca. 300 bis 400 m tief) am Standort mit einer Gesamtlänge von 4.207 m.

GYALOG & TUNGLI (2000), GYALOG & SZEGŐ (2004)

Qualität: 3 Quantität: 3

2 Schachtbohrungen im Lockergestein über dem Granit zur Untersuchung der Infiltrationszone.

GYALOG, SZEGŐ & SZIEBERT (2004)

Qualität: 2 Quantität: 2

B1.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B1.7 Feldmessungen - Geochemie****B1.8 Feldmessungen - Geomechanik****B1.9 Labor****B1.10 Untertage Geophysik****B1.11 Untertage geol. Kartierung****B1.12 Untertage Bohrungen****B1.13 Untertage In-situ-Messungen****B1.14 Untertage Labor****B2 Geometrie****B2.1 Fernerkundung****B2.2 Geophysik (übertägig)**

SH-Wellen-Reflexionsseismik auf 2 Profilen mit insgesamt 2,1 km zur Untersuchung der Granitoberfläche, der Abgrenzung des Granitkörpers und der Überdeckung. Im Zusammenhang mit seismischen Bohrlochmessungen auch zur Charakterisierung der inneren Struktur des Granitkörpers.

Qualität: 2 Quantität: 1

B2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**B2.4 Geol. Kartierung**

B2.5 Bohrungen

Bis 2003 14 gekernte Bohrungen am Standort mit einer Gesamtlänge von 4.207 m.

GYALOG & TUNGLI (2000), GYALOG & SZEGŐ (2004)

Qualität: 3 Quantität: 3

B2.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B2.7 Feldmessungen - Geochemie****B2.8 Feldmessungen - Geomechanik****B2.9 Labor****B2.10 Untertage Geophysik****B2.11 Untertage geol. Kartierung****B2.12 Untertage Bohrungen****B2.13 Untertage In-situ-Messungen****B2.14 Untertage Labor****B3 Makro-Struktur****B3.1 Fernerkundung****B3.2 Geophysik (übertägig)**

Zielsetzungen der im Zeitraum von 1996 bis 2003 durchgeführten geophysikalischen Erkundungen sind:

- Charakterisierung des Granitkörpers
- Bestimmung der räumlichen Homogenität des Granitkörpers
- Erkennung von Rissen und Klüften in Taleinschnitten
- Verfolgung der signifikantesten Kluftzone
- Bestimmung der Neotektonik
- Erstellung eines widerspruchsfreien geologischen Modells

Seismik:

3D-Laufzeit (Ersteinsatz) Tomographie zur Bestimmung der seismischen Geschwindigkeiten. Im Zentralgebiet (ca. 1,2 km²) 25 m Stationsabstand, in der Umgebung 50 m Stationsabstand, Linienabstand 200 m, 62 Anregungspunkte mit Dynamit in Bohrlöchern als Energiequelle. Die ermittelten Geschwindigkeiten wurden mit den Ergebnissen der *acoustic logs* verglichen. Zur Bestimmung der räumlichen Homogenität des Granitkörpers.

P-Wellen-Reflexionsseismik auf 5 Profilen mit insgesamt 4 km zur Charakterisierung des Granitkörpers durch die gemeinsame Interpretation mit seismischen Bohrlochmessungen und seismischer *Cross-hole*-Tomographie.

Qualität: 2 Quantität: 2

Magnetik:

Untersuchungsgebiet ca. 4 km², Messung auf Profilen, Stationsabstand 5 m, Messungen mit Protonen Präzessions- und Overhauser-Magnetometer zur Erkennung von Störungen und „Blockstrukturen“. Die Ergebnisse wurden mit den Resultaten der *susceptibility logs* verglichen.

Qualität: 2 Quantität: 3

Geoelektrik/EM:

Magnetotellurik (MT) zur Bestimmung des magnetotellurischen Impedanztensors im 100 x 100-m-Raster (auf Punkten des TEM Survey) mit Stratagem EH4 (10 - 10.000 Hz), Erkundungstiefe 25 bis 400 m, 2D-Inversion; Erkennung interner Strukturen des Granitkörpers. Außerdem: TEM, Multielektro-

den-Widerstandsmessungen und Maxi-Probe EM auf Profilen als experimentelle Messungen zur Verfolgung einer stark geklüfteten Zone im Granit. EM-31, Slingram EM mit lokaler 10-kHz-Quelle zur Ermittlung der elektrischen und magnetischen Komponenten in unterschiedlichen Raumrichtungen auf insgesamt 2.800 Profilmeter bei 5 bis 10 m Stationsabstand. Erkennung von Auflockerungszonen und Störungen in Taleinschnitten (valley bottoms). VLF, 15 bis 25 kHz zur Erkennung von Störungen und „Blockstrukturen“.

Qualität: 3 Quantität: 3

B3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Zielsetzung: Bestimmung stratigraphischer, tektonischer und strukturgeologischer Informationen; Unterstützung der Interpretation und Tiefenzuordnung von Ergebnissen der Oberflächengeophysik (unter Beachtung der unterschiedlichen Auflösung).

Bohrloch-Radar:

8 Bohrlöcher, 100-MHz- und 250-MHz-Dipolantenne, ca. 10 bis 17 m Eindringtiefe (radial vom Bohrloch) zur Untersuchung der inneren Struktur des Granitkörpers (Risse, Klüfte).

Seismische Bohrlochmessungen:

VSP-Messungen mit P- und SH-Wellenanregung zur Bestimmung von P- und S-Wellengeschwindigkeit sowie der Absorption Q.

Cross-hole Tomographie im Granitkörper:

Untersuchungen in Ebenen zwischen jeweils 2 Bohrlöchern (2D), Startmodell aus seismischen Bohrlochmessungen (P-, S-Wellen und Absorption Q), SIRT-Algorithmus. Vergleich und gemeinsame Interpretation mit geophysikalischen Bohrlochmessungen z.B. zur Bestimmung von Anisotropie verursacht durch Klufthorientierungen.

57 Bohrlöcher mit insgesamt ca. 6.700 Bohrmeter: 1 x ca. 500 m, 3 x mehr als 400 m, 6 x mehr als 300 m, ansonsten zwischen 15 und 101 m; Bohrlochmessungen in jedem Bohrloch.

Durchgeführt wurden:

- *Acoustic sidewall televiewing* (BHTV), nur in Granit-Abschnitten, auch zur Orientierung der Kerne
- *High sensitivity flowmetry* (z.B. *Heat Pulse Flowmeter* HPF), nur in Granit-Abschnitten
- Technische Bohrlochmessungen zur Bestimmung von Inklinations, Bohrlochdurchmesser, *Casing*, Zementierung
- Komplexe Bohrlochmessungen
 - Resistivity 40 cm*
 - Resistivity 10 cm*
 - Guard laterolog*
 - magnetic susceptibility*
 - Mikro Normal*
 - Sonic*
 - Gamma-Ray*
 - Gamma-Gamma*
 - Porosity*
 - Density long*
 - Density short*
 - Tilt*
 - Azimuth*
 - Temperature*
 - Caliper*
 - Nom. Caliper*
 - Diff. temp*

Berechnung synthetischer Seismogramme aus Scherwellen *sonic log* und *density log*.

Qualität: 3 Quantität: 3

B3.4 Geol. Kartierung**B3.5 Bohrungen**

Bis 2003 14 gekernte Bohrungen am Standort mit einer Gesamtlänge von 4.207 m.

GYALOG & TUNGLI (2000), GYALOG & SZEGŐ (2004)

Qualität: 3 Quantität: 3

B3.6 Feldmessungen - Geohydraulik*B3.6.1 Packertests in einzelnen Bohrungen*

128 Scantests und 43 Detailtests (bis 1999); indirekte Hinweise zur Makro-Struktur über geschätzte statische Porenwasserdrücke.

MOLNÁR et al. (2000)

139 Scantests und 68 Detailtests sowie 10 Scan- und 10 Detailtests in der näheren Umgebung (2000 bis 2003); indirekte Hinweise zur Makro-Struktur über geschätzte statische Porenwasserdrücke.

BALLA & MOLNÁR (2004)

Packertests in einigen Bohrungen (nur 4 im gesamten Artikel betrachtet), in denen bislang der Zufluss an einzelnen hydraulisch wirksamen Klüften nicht gemessen werden konnte. Zur Bestimmung des Zuflusses wurden hochempfindliche Wärmeimpuls-Durchflussmeter verwendet; 398 Tests insgesamt.

ZILAHÍ-SEBESS, MÉSZÁROS & SZONGOTH (2000)

Qualität: 3 Quantität: 3

B3.6.2 Interferenztests zwischen Bohrungen

2 Interferenztests (bis 1999); Hinweise zur Makro-Struktur

BRADLEY et al. (2000)

3 Interferenztests (2000 bis 2003); Hinweise zur Makro-Struktur

BALLA & MOLNÁR (2004)

Qualität: 3 Quantität: 2

B3.6.3 Langzeit Druckbeobachtungen in Bohrungen

45 Flachbohrungen sowie 14 Tiefbohrungen und in mehreren Tiefen; indirekte Hinweise zur Makro-Struktur

ROTÁR-SZALKAI et al. (2004)

Qualität: 3 Quantität: 2

B3.7 Feldmessungen - Geochemie**B3.8 Feldmessungen - Geomechanik****B3.9 Labor****B3.10 Untertage Geophysik****B3.11 Untertage geol. Kartierung****B3.12 Untertage Bohrungen****B3.13 Untertage In-situ-Messungen****B3.14 Untertage Labor**

B4 Mikro-Struktur

B4.1 Fernerkundung

B4.2 Geophysik (übertägig)

B4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B4.4 Geol. Kartierung

B4.5 Bohrungen

B4.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B4.7 Feldmessungen - Geochemie

B4.8 Feldmessungen - Geomechanik

B4.9 Labor

B4.10 Untertage Geophysik

B4.11 Untertage geol. Kartierung

B4.12 Untertage Bohrungen

B4.13 Untertage In-situ-Messungen

B4.14 Untertage Labor

B5 In-situ-Spannungsverhältnisse

B5.1 Fernerkundung

B5.2 Geophysik (übertägig)

B5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B5.4 Geol. Kartierung

B5.5 Bohrungen

B5.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B5.7 Feldmessungen - Geochemie

B5.8 Feldmessungen - Geomechanik

B5.9 Labor

B5.10 Untertage Geophysik

B5.11 Untertage geol. Kartierung

B5.12 Untertage Bohrungen

B5.13 Untertage In-situ-Messungen

B5.14 Untertage Labor

B6 Mineralogie

B6.1 Fernerkundung

B6.2 Geophysik (übertägig)

B6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B6.4 Geol. Kartierung

B6.5 Bohrungen

B6.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B6.7 Feldmessungen - Geochemie

B6.8 Feldmessungen - Geomechanik**B6.9 Labor****B6.10 Untertage Geophysik****B6.11 Untertage geol. Kartierung****B6.12 Untertage Bohrungen****B6.13 Untertage In-situ-Messungen****B6.14 Untertage Labor****B7 Petrophysikalische Eigenschaften****B7a Gesteinsmechanik****B7a.1 Fernerkundung****B7a.2 Geophysik (übertägig)****B7a.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

Bestimmung geotechnischer Parameter, Ermittlung des Spannungszustandes, Durchführung eines *Rock Mass Rating* (RMR) zur Planung des Stollenbaus (Tunnel).

Dafür erfolgt die Ermittlung von:

- *Shear modulus*
- *Young modulus*
- *Attenuation*
- *Strength index*
- *Poisson number*

aus geophysikalischen Bohrlochmessungen (seismische Geschwindigkeit und Dichte). Die Ermittlung dieser Parameter erfolgte auch an Bohrkernen.

Qualität: 2 Quantität: 2

B7a.4 Geol. Kartierung**B7a.5 Bohrungen****B7a.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7a.7 Feldmessungen - Geochemie****B7a.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7a.9 Labor****B7a.10 Untertage Geophysik****B7a.11 Untertage geol. Kartierung****B7a.12 Untertage Bohrungen****B7a.13 Untertage In-situ-Messungen****B7a.14 Untertage Labor****B7b Hydraulisch (z. B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)****B7b.1 Fernerkundung****B7b.2 Geophysik (übertägig)****B7b.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

Auswertung der Log-Messungen an 8 Bohrungen (zusätzlich eine im näheren Umfeld).

ZILAHÍ-SEBESS, LENDVAY & SZONGOTH (2000)

B7b.4 Geol. Kartierung

B7b.5 Bohrungen

B7b.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7b.7 Feldmessungen - Geochemie

B7b.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7b.9 Labor

B7b.10 Untertage Geophysik

B7b.11 Untertage geol. Kartierung

B7b.12 Untertage Bohrungen

B7b.13 Untertage In-situ-Messungen

B7b.14 Untertage Labor

B7c Diffusion

B7c.1 Fernerkundung

B7c.2 Geophysik (übertägig)

B7c.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7c.4 Geol. Kartierung

B7c.5 Bohrungen

B7c.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7c.7 Feldmessungen - Geochemie

B7c.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7c.9 Labor

B7c.10 Untertage Geophysik

B7c.11 Untertage geol. Kartierung

B7c.12 Untertage Bohrungen

B7c.13 Untertage In-situ-Messungen

B7c.14 Untertage Labor

B7d Thermisch

B7d.1 Fernerkundung

B7d.2 Geophysik (übertägig)

B7d.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7d.4 Geol. Kartierung

B7d.5 Bohrungen

B7d.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7d.7 Feldmessungen - Geochemie

B7d.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7d.9 Labor

B7d.10 Untertage Geophysik

B7d.11 Untertage geol. Kartierung

B7d.12 Untertage Bohrungen

B7d.13 Untertage In-situ-Messungen

B7d.14 Untertage Labor

B7e THMC-Kopplung

B7e.1 Fernerkundung

B7e.2 Geophysik (übertägig)

B7e.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7e.4 Geol. Kartierung

B7e.5 Bohrungen

B7e.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7e.7 Feldmessungen - Geochemie

B7e.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7e.9 Labor

B7e.10 Untertage Geophysik

B7e.11 Untertage geol. Kartierung

B7e.12 Untertage Bohrungen

B7e.13 Untertage In-situ-Messungen

B7e.14 Untertage Labor

B7f Chemische Eigenschaften (z. B. Oxidation, Adsorption)

B7f.1 Fernerkundung

B7f.2 Geophysik (übertägig)

B7f.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7f.4 Geol. Kartierung

B7f.5 Bohrungen

B7f.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7f.7 Feldmessungen - Geochemie

B7f.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7f.9 Labor

B7f.10 Untertage Geophysik

B7f.11 Untertage geol. Kartierung

B7f.12 Untertage Bohrungen

B7f.13 Untertage In-situ-Messungen

B7f.14 Untertage Labor

C Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)

C1 Hydraulisch wirksame Einheiten

C1.1 Fernerkundung

C1.2 Geophysik (übertägig)

C1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Bestimmung von Fluidfluss, Wasserzufluss und Wasserstand:

- high sensitivity flowmeter with rotating blade (Auflösung 1 bis 2 m)
- high-sensitivity temperature logging (vert. Auflösung 10 cm, Auflösung 0,01°C)
- BHTV (vert. Auflösung 4 mm, horizontal 1° bis 2°)
- *mud resistivity measurements*

Gemeinsame Interpretation von seismischen Geschwindigkeiten, elektrischen Widerständen und hydraulischen (Druck-)Messungen zur Herstellung hydrogeologischer Beziehungen.

Qualität: 2 Quantität: 2

C1.4 Geol. Kartierung*C1.7.4 Oberflächennaher Abfluss an Überlaufmessenstellen*

13 Überlaufmessenstellen (9 im Verlauf der Untersuchungen ab 2002 erstellt) im Umfeld des Untersuchungsgebietes.

GYALOG, SZEGŐ & SZIEBERT (2004)

Qualität: 2 Quantität: ?

C1.5 Bohrungen**C1.6 Feldmessungen - Geohydraulik***C1.6.1 Packertests in einzelnen Bohrungen*

128 Scantests und 43 Detailtests (bis 1999)

MOLNÁR et al. (2000)

139 Scantests und 68 Detailtests sowie 10 Scantests und 10 Detailtests in der näheren Umgebung (2000 bis 2003)

BALLA & MOLNÁR (2004)

Qualität: 3 Quantität: 3

C1.6.2 Interferenztests zwischen Bohrungen

2 Interferenztests (bis 1999)

BRADLEY et al. (2000)

3 Interferenztests (2000 bis 2003)

BALLA & MOLNÁR (2004)

Qualität: 3 Quantität: 2

C1.6.3 Langzeit Druckbeobachtungen in Bohrungen

45 Flachbohrungen sowie 14 Tiefbohrungen und in mehreren Tiefen

ROTÁR-SZALKAI et al. (2004)

Qualität: 3 Quantität: 2

C1.7 Feldmessungen - Geochemie**C1.8 Feldmessungen - Geomechanik****C1.9 Labor****C1.10 Untertage Geophysik****C1.11 Untertage geol. Kartierung**

C1.12 Untertage Bohrungen**C1.13 Untertage In-situ-Messungen****C1.14 Untertage Labor****C2 Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein****C2.1 Fernerkundung****C2.2 Geophysik (übertägig)****C2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C2.4 Geol. Kartierung****C2.5 Bohrungen****C2.6 Feldmessungen - Geohydraulik***C2.6.1 Packertests in einzelnen Bohrungen*

128 Scantests und 43 Detailtests (bis 1999); lieferten nur Schätzwerte des statischen Porenwasserdruckes.

MOLNÁR et al. (2000)

139 Scantests und 68 Detailtests sowie 10 Scan- und 10 Detailtests in der näheren Umgebung (2000 bis 2003); lieferten nur Schätzwerte des statischen Porenwasserdruckes; 398 Tests insgesamt.

BALLA & MOLNÁR (2004)

Qualität: 1 Quantität: 3

C2.6.2 Interferenztests zwischen Bohrungen

2 Interferenztests (bis 1999); lieferten nur Schätzwerte des statischen Porenwasserdruckes.

BRADLEY et al. (2000)

3 Interferenztests (2000 bis 2003); lieferten nur Schätzwerte des statischen Porenwasserdruckes.

BALLA & MOLNÁR (2004)

Qualität: 1 Quantität: 2

C2.6.3 Langzeit Druckbeobachtungen in Bohrungen

45 Flachbohrungen sowie 14 Tiefbohrungen in mehreren Tiefen

ROTÁR-SZALKAI et al. (2004)

Qualität: 2 Quantität: 2

C2.7 Feldmessungen - Geochemie**C2.8 Feldmessungen - Geomechanik****C2.9 Labor****C2.10 Untertage Geophysik****C2.11 Untertage geol. Kartierung****C2.12 Untertage Bohrungen****C2.13 Untertage In-situ-Messungen****C2.14 Untertage Labor**

C3 Fließ- und Speicherparameter**C3.1 Fernerkundung****C3.2 Geophysik (übertägig)****C3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C3.4 Geol. Kartierung****C3.5 Bohrungen****C3.6 Feldmessungen - Geohydraulik***C3.6.1 Packertests in einzelnen Bohrungen*

128 Scantests und 43 Detailtests (bis 1999)

MOLNÁR et al. (2000)

139 Scantests und 68 Detailtests sowie 10 Scan- und 10 Detailtests in der näheren Umgebung (2000 bis 2003); 398 Tests insgesamt.

BALLA & MOLNÁR (2004)

Qualität: 3 Quantität: 3

C3.6.2 Interferenztests zwischen Bohrungen

2 Interferenztests (bis 1999)

BRADLEY et al. (2000)

3 Interferenztests (2000 bis 2003)

BALLA & MOLNÁR (2004)

Qualität: 3 Quantität: 2

C3.7 Feldmessungen - Geochemie**C3.8 Feldmessungen - Geomechanik****C3.9 Labor****C3.10 Untertage Geophysik****C3.11 Untertage geol. Kartierung****C3.12 Untertage Bohrungen****C3.13 Untertage In-situ-Messungen****C3.14 Untertage Labor****C4 Zwei-Phasenflussparameter****C4.1 Fernerkundung****C4.2 Geophysik (übertägig)****C4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C4.4 Geol. Kartierung****C4.5 Bohrungen****C4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****C4.7 Feldmessungen - Geochemie****C4.8 Feldmessungen - Geomechanik****C4.9 Labor****C4.10 Untertage Geophysik**

C4.11 Untertage geol. Kartierung**C4.12 Untertage Bohrungen****C4.13 Untertage In-situ-Messungen****C4.14 Untertage Labor*****D Hydrochemie*****D1 Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)****D1.1 Fernerkundung****D1.2 Geophysik (übertägig)****D1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D1.4 Geol. Kartierung****D1.5 Bohrungen****D1.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D1.7 Feldmessungen - Geochemie****D1.8 Feldmessungen - Geomechanik****D1.9 Labor**

Das Tritiumprofil in der ungesättigten Zone wurde bis zu 20 m Tiefe in der Bohrung Üh-1 bestimmt.

HORVÁTH et al. (1997)

Qualität: ? Quantität: 1

Flachbohrungen zur Beprobung wurden mit Luftspülung und Tiefbohrungen mit Wasserspülung abgeteuft. Tiefere Proben wurden aus abgepackten Intervallen gepumpt. Die Probennahmen erfolgten nach dem Erreichen eines bestimmten Tracerinhaltes, was auf einen Spülungswasserinhalt kleiner 3% hindeutet.

HORVÁTH et al. (2004)

34 Wasserproben aus Flach- sowie Tiefbohrungen wurden für ^3H , ^3H - ^3He , ^2H , ^{18}O , ^{13}C , ^{14}C . ^{14}C bzw. ^{13}C analysiert. Die Ergebnisse für ^{14}C korrelierten gut mit den $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Verhältnissen.

HORVÁTH et al. (2004)

Qualität: 3 Quantität: 3 (Isotopenverhältnisse)

Qualität: 3 Quantität: 3 (Tritiumanalyse)

Qualität: 3 Quantität: 3 (^{14}C -Analyse)

D1.10 Untertage Geophysik**D1.11 Untertage geol. Kartierung****D1.12 Untertage Bohrungen****D1.13 Untertage In-situ-Messungen****D1.14 Untertage Labor****D2 Porenwasserchemismus****D2.1 Fernerkundung****D2.2 Geophysik (übertägig)****D2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

D2.4 Geol. Kartierung**D2.5 Bohrungen****D2.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D2.7 Feldmessungen - Geochemie**

Während des Monitoringprogramms 1997 wurden pH, elektrische Leitfähigkeit, Eh sowie Alkalinität bestimmt.

ROTÁR-SZALKAI et al. (2004)

Qualität: 1 Quantität: 3 (elektrische Leitfähigkeit)

Qualität: 1 Quantität: 3 (pH)

Qualität: 1 Quantität: 3 (Eh)

D2.8 Feldmessungen - Geomechanik**D2.9 Labor**

Flaches Grundwasser wurde monatlich ab 1997 in 8 Messstellen, einem artesischen Abfluss von einer Tiefbohrung, 4 Bachläufen, einer Quelle sowie Niederschlag beprobt. Die entsprechenden Analysen waren; Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, NH₄, Cl, Alkalinität, SO₄, NO₃, NO₂, Si, elektrische Leitfähigkeit, pH, TOC, Spurelemente, ²H, ¹⁸O, ¹⁵N, ³⁴S, ²²²Rn, ³H.

ROTÁR-SZALKAI et al. (2004)

Qualität: 2 Quantität: 3 (Alkalinität)

Qualität: 3 Quantität: 3 (normale gelösten Stoffe)

Qualität: 3 Quantität: 3 (Spurelemente)

Qualität: 3 Quantität: 3 (Tritium)

Qualität: 3 Quantität: 3 (natürliche Radionuklide)

Flachbohrungen zur Beprobung wurden mit Luftspülung bzw. Tiefbohrungen mit Wasserspülung abgeteuft. Tiefere Proben wurden aus abgepackten Intervallen gepumpt. Die Probenahme erfolgte nach dem Erreichen eines bestimmten Tracergehaltes, der auf einen Spülungswasserinhalt kleiner 3% hindeutete.

HORVÁTH et al. (2004)

49 Wasserproben aus Flach- sowie Tiefbohrungen wurden für die normalen gelösten Stoffe, Spurelemente, organischen Kohlenstoff, ²²²Rn sowie Mikroorganismen analysiert.

HORVÁTH et al. (2004)

Qualität: 3 Quantität: 3 (normale gelösten Stoffe)

Qualität: 3 Quantität: 3 (Spurelemente)

Qualität: 1 Quantität: 3 (Mikroorganismen)

Qualität: 3 Quantität: 3 (natürliche Radioisotope)

H₂S wurde in 5 Bohrungen nachgewiesen.

HORVÁTH et al. (2004)

Qualität: 3 Quantität: 3 (redoxempfindliche Lösungen)

D2.10 Untertage Geophysik**D2.11 Untertage geol. Kartierung****D2.12 Untertage Bohrungen****D2.13 Untertage In-situ-Messungen**

D2.14 Untertage Labor**D3 Transporteigenschaften****D3.1 Fernerkundung****D3.2 Geophysik (übertägig)****D3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D3.4 Geol. Kartierung****D3.5 Bohrungen****D3.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

Tracerversuche zwischen Bohrungen; 3 Versuche in der näheren Umgebung; das Gestein an der Versuchsstelle entspricht wahrscheinlich nicht dem um das geplante Endlager.

BALLA & MOLNÁR (2004)

Qualität: 1 Quantität: 2

D3.7 Feldmessungen - Geochemie**D3.8 Feldmessungen - Geomechanik****D3.9 Labor****D3.10 Untertage Geophysik****D3.11 Untertage geol. Kartierung****D3.12 Untertage Bohrungen****D3.13 Untertage In-situ-Messungen****D3.14 Untertage Labor****D4 Kolloide usw.****D4.1 Fernerkundung****D4.2 Geophysik (übertägig)****D4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D4.4 Geol. Kartierung****D4.5 Bohrungen****D4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D4.7 Feldmessungen - Geochemie****D4.8 Feldmessungen - Geomechanik****D4.9 Labor****D4.10 Untertage Geophysik****D4.11 Untertage geol. Kartierung****D4.12 Untertage Bohrungen****D4.13 Untertage In-situ-Messungen****D4.14 Untertage Labor**

ZITATE

(Die mit * gekennzeichneten Zitate befinden sich auf dem beiliegenden Datenträger.)

- *BALLA, Z. (2004): Geological suitability of the Bataapati (Üveghuta) Site and the concept for its further exploration. In Annual Report of the Geological Institute of Hungary, Budapest.
- *BALLA, Z. & MOLNÁR, P. (2004): Hydrodynamic testing of boreholes at the Bátaapáti (Üveghuta) Site. In Annual Report of the Geological Institute of Hungary, Budapest.
- *BRADLEY, J. G., ENACHESCU, C., McDONALD, B. & MOLNÁR, P. (2000): Hydrogeological interference testing in the Carboniferous granites, at Üveghuta, in south-west Hungary. In Annual Report of the Geological Institute of Hungary, Budapest.
- *CHIKÁN, G. (1997): Role and significance of the geological mapping in site exploration. In Annual Report of the Geological Institute of Hungary 1996/II, Budapest.
- *GYALOG, L., HAVAS, G., MAIGUT, V., MAROS, G. & SZEBÉNYI, G. (2004): Geological-tectonic documentation in the Bataapati (Üveghuta) site. In Annual Report of the Geological Institute of Hungary, Budapest.
- *GYALOG, L. & SZEGŐ, I. (2004): Boreholes at the Bataapati (Üveghuta) site. In Annual Report of the Geological Institute of Hungary, Budapest.
- *GYALOG, L., SZEGŐ, I. & SZIEBERT, G. (2004): Implementation and examination of mining and technical facilities at the Bataapati (Üveghuta) site. In Annual Report of the Geological Institute of Hungary, Budapest.
- *GYALOG, L. & TUNGLI, G. (2000): Exploration drilling at the Üveghuta site - problems and experience. In Annual Report of the Geological Institute of Hungary, Budapest.
- *HORVÁTH, I., DEÁK, J., HERTELENDI, E. & SZŐCS, T. (1997): Hydrogeochemical investigations in the Tolna Hills area. In Ann. Rep. of the Geological Institute of Hungary, 1996/II, pp271-280, Budapest.
- *HORVÁTH, I., SZŐCS, T., TÓTH, G., MURÁTI, J. & ROTÁR-SZALKAI, A. (2004): Hydrogeochemistry and water ages at the Bataapati (Üveghuta) Site. In Annual Report of the Geological Institute of Hungary, 2003, Budapest.
- *KÓKAI, A. (1997): Geological evaluation of the Üveghuta-1 borehole. In Ann. Rep. of the Geological Institute of Hungary, 1996/II, 59-69, Budapest.
- *KOLOSZÁR, L., MARSÍ, I. & CHIKÁN, G. (2000): Cainozoic sedimentary cover of the eastern part of Mórág Hills. In Annual Report of the Geological Institute of Hungary, Budapest.
- *MAROS, G. & PALOTÁS, K. (1997): Fracturing of the Mórág granite in outcrops and the Üveghuta-1 drill core. In Annual Report of the Geological Institute of Hungary 1996/II, Budapest.
- *MARSÍ, I. (2000): Geology of overlying beds of granites in the eastern part of Mórág Hills. In Annual Report of the Geological Institute of Hungary, Budapest.
- *MOLNÁR, P., BRADLEY, J. G., ENACHESCU, C. & WOZNIEWICZ, J. (2000): Single-borehole hydrogeological testing in the Carboniferous granites, at Üveghuta, south-west Hungary. In Annual Report of the Geological Institute of Hungary, Budapest.
- *ROTÁR-SZALKAI, A., HORVÁTH, I., MARSÓ, K., NAGY, P., KOVÁCS, L., SZŐCS, T. & TÓTH, G. (2004): Hydrogeological monitoring network at the Bátaapáti (Üveghuta) Site. In Annual Report of the Geological Institute of Hungary, 2003, Budapest.
- *SZONGOTH, G., ZILAHÍ-SEBESS, L. & SZÜCSI, P. (2003): Well logging at the Bátaapáti (Üveghuta) Site, Annual Report of the Geological Institute of Hungary, Budapest.

- *TÖRÖS, E., PRÓRAY, Z., NEDUCZA, B., HERMANN, L., ZILAHÍ-SEBESS, L., SZŰCS, I., MENYHEI, L. & GACSÁLYI, M. (2003): Complementary ground-based and borehole seismic and radar survey at the Bátaapáti (Üveghuta) Site, Annual Report of the Geological Institute of Hungary.
- *VÉRTESY, L., FANCSIK, T., FEJES, I., GULYÁS, Á., HEGEDŰS, E., KOVÁCS, A. C., KOVÁCS, P., KISS, J., MADARASI, A., SÓRÉS, L., SZABÓ, Z. & TÓTH, Z. (2003): Ground-based geophysical surveys at the Bátaapáti (Üveghuta) Site and in its vicinity. Annual Report of the Geological Institute of Hungary.
- *ZILAHÍ-SEBESS, L., LENDVAY, P. & SZONGOTH, G. (2000): Division of Quaternary formations and their characterisation based on physical properties at the Üveghuta site. In Annual Report of the Geological Institute of Hungary, Budapest.
- *ZILAHÍ-SEBESS, L., MÉSZÁROS, F. & SZONGOTH, G. (2000): Characterisation of fracture zones in granite, based on well-logging data at the Üveghuta site. In Annual Report of the Geological Institute of Hungary, Budapest.
- *ZILAHÍ-SEBESS, L., RIGLER, G. & SZONGOTH, G. (2000): Division of the weathering crust of the Üveghuta granite based on well-logging data. In Annual Report of the Geological Institute of Hungary, Budapest.

BATAAPATI		Erkundungs- methoden: 1-9 übertägig 10-14 untertägig	Fernerkundung	Geophysik (übertägig)	Geophysik (im Bohrloch)	Geol. Kartierung	Bohrungen	Feldmessungen - Geohydraulik	Feldmessungen - Geochemie	Feldmessungen - Geomechanik	Labor	Geophysik	geologische Kartierung	Bohrungen	In-situ- Messungen	Labor
Inhalte der Themenkomplexe		Bezeichnungen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Regionale Geologie (20 km*20 km)																
Wirtsgestein / Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)	A1															
Stratigraphie	A2															
Strukturgeologie und Tektonik (Störungsmuster, Faltung)	A3															
Regionales Spannungsfeld	A4															
Temperatur und Wärmeleitfähigkeit	A5															
Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z.B. Eiszeitaufrost, Erosion, Seismizität)	A6															
Rohstoffvorkommen	A7															
Eigenschaften des Wirtsgesteins und des Deckgebirges am Standort																
Lithologie	B1															
Geometrie (Tiefenlage, Ausdehnung)	B2															
Makro-Struktur (Großgefüge: Störungen / Faltungen / Deformationen / Klüfte)	B3															
Mikro-Struktur (Korngefüge / Porenstruktur)	B4															
In-situ-Spannungsverhältnisse	B5															
Mineralogie	B6															
Petrophysikalische Eigenschaften (Probenmaßstab):																
Gesteinsmechanik (z.B. Festigkeit, Kriechen)	B7a															
Hydraulik (z.B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)	B7b															
Diffusion	B7c															
Thermik	B7d															
THMC-Kopplung	B7e															
Chemismus (z.B. Oxidation, Adsorption)	B7f															
Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)																
Hydraulisch wirksame Einheiten	C1															
Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein	C2															
Fließ- und Speicherparameter	C3															
Zwei-Phasenfluss-Parameter	C4															
Hydrochemie																
Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)	D1															
Porenwasserchemismus	D2															
Transporteigenschaften	D3															
Kolloide usw.	D4															

Erkundungsaktivität

Erkundungsaktivität ohne eine Bewertung bzgl. der Qualitäts- bzw. Quantitätskategorien

Standort:	Forsmark (Schweden)
Name - Typ:	Forsmark - potenzieller Standort für ein Endlager für HAW/MAW
Lage:	im Küstenbereich direkt südöstlich des Kernkraftwerkes Forsmark, ca. 15 km NNW von Östhammar, ca. 120 km nördlich von Stockholm
Betreiber:	SKB
Fläche:	Das Gebiet, in dem sich das potenzielle Endlager befinden könnte, hat eine Fläche von ca. 10 km ² .
Erschließung/ Teufenlage:	Das Endlager ist in einer Tiefe von 300 bis 700 m geplant. Für den Transport in das Endlager sind zwei Schächte sowie eine Rampe vorgesehen.
Geologie:	<p>Das potenzielle Endlagergebiet wird von metamorphen Graniten (Metagranite) dominiert, welche einen hohen Quarzanteil und eine hohe thermische Leitfähigkeit aufweisen. Die Granite sind im gesamten Gebiet relativ homogen und zeigen keine starken Deformationen, da sie sich im Bereich einer sogenannten „tektonischen Linse“ befinden.</p> <p>Das Gelände ist relativ eben. Die Mächtigkeit der Bodenschicht über dem Festgestein variiert im Untersuchungsgebiet zwischen 0 und 15 m. Bis zu einer Tiefe von ca. 200 m ist das Gestein stark geklüftet und hat eine hohe hydraulische Leitfähigkeit. Mit zunehmender Tiefe reduziert sich die Anzahl der Klüfte und unterhalb von 400 m treten nur noch wenige Klüfte auf.</p>
Historie:	Die Erkundungen im Gebiet Forsmark begannen 2002. Sie konzentrierten sich auf das vorher ausgewählte Gebiet südöstlich des Kernkraftwerkes Forsmark. Die Feldarbeiten für die Untersuchung dieses Gebietes sollen 2007 abgeschlossen werden, danach setzt die finale Bewertung und Analyse der gewonnenen Daten ein. Danach wird die Entscheidung möglich sein, ob das ausgewählte Gebiet ausreichend sicher ist für eine Endlagerung ausgedienter Kernbrennstoffe. Bisher haben sich die Eigenschaften des Gesteins als gut vorhersagbar erwiesen; es gibt auch noch keine Indikationen, die gegen eine prinzipielle Eignung sprechen.

Forsmark, SchwedenINFO:

Datafreeze Modell 2.2: 30.09.2006

Fläche des Untersuchungsgebietes ca. 10 km²

Das regionale Untersuchungsgebiet ist 11 x 15 km groß (TR-05-16)

Die detaillierten Beschreibungen zum Ausbau der Bohrungen und den Messungen in der Bohrphase wurden beispielhaft den Berichten zu einzelnen Bohrungen entnommen, um eine bessere Qualitätsbewertung vornehmen zu können. Da die Daten aufgrund von SKB-Richtlinien in der Regel übertragbar sind, wurden nicht alle Berichte zu allen Bohrungen verwendet.

A Regionale Geologie (20 km x 20 km)**A1 Wirtsgestein/Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)****A1.1 Fernerkundung****A1.2 Geophysik (übertägig)**Gravimetrie:

Im Herbst 2002 wurden insgesamt 238 Punkte im Untersuchungsgebiet Forsmark gemessen, davon 145 Punkte entlang von Straßen und Wegen und 90 auf Inseln. Die Punkte hatten einen Abstand von 500 bis 800 m. Im Winter schlossen sich weitere Messungen an (98 Punkte), von denen ein Teil auf dem Eis durchgeführt wurde. Bei diesen Messungen betrug der mittlere Abstand 300 m. Die Messungen erfolgten mit LaCoste & Romberg-Gravimetern

In die Interpretation der Messungen konnten auch Daten aus einer älteren Regionalaufnahme mit einem Punktabstand von ca. 2 km einbezogen werden.

AARO (2003)

Die Daten haben primär eine regionale Bedeutung, wurden jedoch bis 2006 noch nicht interpretiert. Ergebnisse der Modellierung werden im Site descriptive modelling 2.2 zur Verfügung stehen (SKB, 2006a).

Qualität: 2 Quantität: 2

A1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**A1.4 Geol. Kartierung****A1.5 Bohrungen****A1.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A1.7 Feldmessungen - Geochemie****A1.8 Feldmessungen - Geomechanik****A1.9 Labor****A1.10 Untertage Geophysik****A1.11 Untertage geol. Kartierung****A1.12 Untertage Bohrungen****A1.13 Untertage In-situ-Messungen****A1.14 Untertage Labor**

A2 Stratigraphie

A2.1 Fernerkundung

A2.2 Geophysik (übertägig)

A2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A2.4 Geol. Kartierung

A2.5 Bohrungen

A2.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A2.7 Feldmessungen - Geochemie

A2.8 Feldmessungen - Geomechanik

A2.9 Labor

A2.10 Untertage Geophysik

A2.11 Untertage geol. Kartierung

A2.12 Untertage Bohrungen

A2.13 Untertage In-situ-Messungen

A2.14 Untertage Labor

A3 Strukturgeologie und Tektonik

A3.1 Fernerkundung

A3.2 Geophysik (übertägig)

A3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A3.4 Geol. Kartierung

A3.5 Bohrungen

A3.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A3.7 Feldmessungen - Geochemie

A3.8 Feldmessungen - Geomechanik

A3.9 Labor

A3.10 Untertage Geophysik

A3.11 Untertage geol. Kartierung

A3.12 Untertage Bohrungen

A3.13 Untertage In-situ-Messungen

A3.14 Untertage Labor

A4 Regionales Spannungsfeld

A4.1 Fernerkundung

A4.2 Geophysik (übertägig)

A4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A4.4 Geol. Kartierung

A4.5 Bohrungen

A4.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A4.7 Feldmessungen - Geochemie

A4.8 Feldmessungen - Geomechanik**A4.9 Labor****A4.10 Untertage Geophysik****A4.11 Untertage geol. Kartierung****A4.12 Untertage Bohrungen****A4.13 Untertage In-situ-Messungen****A4.14 Untertage Labor****A5 Temperatur und Wärmeleitfähigkeit****A5.1 Fernerkundung****A5.2 Geophysik (übertägig)****A5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

Für die Untersuchung von Temperatur und Leitfähigkeit wurden auch Messungen in den Bohrungen durchgeführt. Relativ starke Schwankungen der Temperatur in verschiedenen Bohrungen in der gleichen Tiefe werden als Hinweis auf größere Fehler in der Temperaturmessung gewertet. Deshalb wurden auch einige der Bohrungen nochmal vermessen. Erste Ergebnisse lassen eine bessere Qualität erwarten.

SKB (2006a, S. 148)

Qualität: 2 Quantität: 2

A5.4 Geol. Kartierung**A5.5 Bohrungen****A5.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A5.7 Feldmessungen - Geochemie****A5.8 Feldmessungen - Geomechanik****A5.9 Labor****A5.10 Untertage Geophysik****A5.11 Untertage geol. Kartierung****A5.12 Untertage Bohrungen****A5.13 Untertage In-situ-Messungen****A5.14 Untertage Labor****A6 Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z. B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)****A6.1 Fernerkundung****A6.2 Geophysik (übertägig)****A6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A6.4 Geol. Kartierung****A6.5 Bohrungen****A6.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A6.7 Feldmessungen - Geochemie****A6.8 Feldmessungen - Geomechanik****A6.9 Labor****A6.10 Untertage Geophysik**

A6.11 Untertage geol. Kartierung**A6.12 Untertage Bohrungen****A6.13 Untertage In-situ-Messungen****A6.14 Untertage Labor****A7 Rohstoffvorkommen****A7.1 Fernerkundung****A7.2 Geophysik (übertägig)****A7.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A7.4 Geol. Kartierung****A7.5 Bohrungen****A7.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A7.7 Feldmessungen - Geochemie****A7.8 Feldmessungen - Geomechanik****A7.9 Labor****A7.10 Untertage Geophysik****A7.11 Untertage geol. Kartierung****A7.12 Untertage Bohrungen****A7.13 Untertage In-situ-Messungen****A7.14 Untertage Labor*****B Eigenschaften des Wirtsgesteins und des Deckgebirges am Standort*****B1 Lithologie/Stratigraphie****B1.1 Fernerkundung****B1.2 Geophysik (übertägig)***Helikopter-Geophysik:*

Die Messungen erfolgten auf N-S-ausgerichteten Fluglinien in einem Gebiet mit einer Ausdehnung von ca. 10 x 11 km. In einem Teilgebiet von 6 x 6 km wurde zusätzlich in E-W-Richtung geflogen, um Strukturen mit einer N-S-Ausrichtung südöstlich des Kernkraftwerkes Forsmark besser erfassen zu können. Der Profilabstand betrug 50 m; es wurde in einer Höhe von ca. 60 m geflogen. Verbindungslinien wurden alle 500 m geflogen. Gesamtumfang: 2.819 km.

Eingesetzte Verfahren:

- Magnetik, Scintrex CS-2 Cäsium-Magnetometer, Auflösung 0,001 nT, 10 Messungen pro Sekunde, d.h. ca. 3 Meter Messpunktabstand. Das Magnetometer war in der EM-Sonde integriert. Basisstation: Scintrex MP-3 Protonen-Magnetometer, Auflösung 0,1 nT, eine Messung alle 3 Sekunden.
- Elektromagnetik, Geotech Hummingbird, 5-Frequenzen-Sonde, Auflösung 0,1 ppm, 10 Messungen pro Sekunde. Koplanar: 880, 6.606 und 34.133 Hz, Koaxial 980 und 7.001 Hz. Die Spulen für die 4 niedrigen Frequenzen haben einen Abstand von 6 m, die 34.133-Hz-Spulen sind 4,2 m voneinander entfernt. Die Sonde befindet sich an einem 30 m langen Kabel.

Die elektromagnetischen Daten lieferten Aussagen über die Lockergesteinsbedeckung und den Widerstand des darunter anstehenden Grundgebirges. Es wurden außerdem Informationen über Lineamente gewonnen (THUNEHED, 2005)

- Radiometrie, Apparatur: Exploranium GR 820 mit thermisch stabilisiertem, nach unten gerichtetem, 16-l-Kristall und einem nach oben gerichteten 4-l-Kristall; das Spektrometer hat 256 Kanäle mit einer Kanalweite von 12,5 keV und deckt ein Energiefenster von 0,2 bis 3,0 MeV ab; Kanal 255 (kosmisch) erfasst Energien > 3 MeV. Eine Messung erfolgt alle 30 m.
- Very Low Frequency Elektromagnetik (VLF-EM); Messung mit Hertz Totem 2A, es wurde das Totfeld von 2 orthogonalen Stationen (Inline: GBR (16,0 kHz), Ortho: NAA (24 kHz)) erfasst; Messungen ca. alle 6 m; die Empfangsantenne befand sich an einem 10 m langen Kabel unter dem Helikopter.

Teilweise wurden die Messungen durch Stromkabel am Erdboden gestört.

RØNNING et al. (2003)

Zur Unterstützung der Interpretation der Helikoptermessungen wurden 2002 insgesamt 30 geoelektrische Widerstandssondierungen durchgeführt. Im Ergebnis konnten Aussagen zur Mächtigkeit der Lockerbedeckung (zwischen 0 m und 9,5 m, im Mittel: 3,2 m) sowie zum Widerstand des Grundgebirges und somit über dessen Homogenität geliefert werden. Die bei den Untersuchungen festgestellten Anisotropien korrespondieren gut mit den in der Magnetik festgestellten Streichrichtungen der Strukturen.

THUNEHED, H. & PITKÄNEN, T. (2003)

Für die Bestimmung von Lockergesteinsmächtigkeiten kamen Georadar-Messungen (7 Profile) und 2D-geoelektrische Messungen (4 Profile) zum Einsatz. Die Messungen erfolgten in zwei Kampagnen: bei den Messungen von 2003 waren vor allem die 2D-geoelektrischen Ergebnisse gut geeignet, um Widerstand und Mächtigkeit der Lockerbedeckung zu bestimmen. Die Bestimmung der Festgesteinsobergrenze war aufgrund der limitierten Auflösung des Verfahrens relativ unsicher, jedoch konnten auch Widerstandsverhältnisse im Grundgebirge erfasst werden.

Eine besser aufgelöste Erfassung der Festgesteinsoberkante wäre im Prinzip mit dem Georadar-Verfahren möglich, aber bei der ersten Messkampagne 2003 wurde in den meisten Fällen nicht die ausreichende Erkundungstiefe erzielt. Bei den Messungen 2004 kam eine speziell entwickelte 50-MHz-Antenne zum Einsatz. Damit konnte zwar teilweise eine Verbesserung der Eindringtiefe (bis ca. 10 m) erreicht werden, jedoch gab es auch große Bereiche, in denen die Tiefenreichweite nicht ausreichend war. In der zweiten Kampagne fand auch eine Reinterpretation der 2D-geoelektrischen Messungen statt, bei der die Interpretation des Übergangs vom Lockergestein zum Festgestein mit Hilfe von Bohrungen kalibriert wurde. Das führte zu besseren Aussagen, ohne ganz die Grenzen im Auflösungsvermögen aufheben zu können.

NISSEN (2004)

Qualität: 2 Quantität: 3

Die Geophysik wird hier gesamt bewertet, da meist eine kombinierte Vorgehensweise angewendet wurde. Qualität 2, da zwar die gemeinsame Interpretation eine verbesserte Qualität liefert, aber die Aussagen sich doch meist auf den oberflächennahen Bereich konzentrierten und für tiefere Bereiche nur wenige Informationen gewonnen werden konnten.

B1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Standard-Bohrlochmessprogramm (beispielhaft aus NIELSEN et al. (2005)):

Log	Log name short	Unit	Tool
Fluid temperature	TEMP(FL)	deg C	8044/9042
Fluid resistivity	RES(FL)	ohm-m	8044/9042
Normal resistivity 16 inch	RES(16N)	ohm-m	8044
Normal resistivity 64 inch	RES(64N)	ohm-m	8044
Lateral resistivity	LATERAL	ohm-m	8044
Single point resistance	SPR	Ohm	8044
Self Potential	SP	mV	8044
Magnetic susceptibility	MAGSUSCEP	SI*10 ⁻⁵	8622
Caliper, 1-arm	CALIPER1	mm	9030
Gamma-gamma density	DENSITY	kg/m ³	9030
Focused guard log resistivity, 140 cm	RES(MG)	ohm-m	9030
Natural gamma	GAM(NAT)	µR/h	9030
Focused guard log resistivity, 300 cm	RES(DG)	ohm-m	9072
P-wave velocity	P-VEL	m/s	9310
Full wave form, near receiver	AMP(N)	µs	9310
Full wave form, far receiver	AMP(F)	µs	9310
Caliper, high resolution. 360°	CALIPER 3D	Mm	HiRAT
High resolution 1D Caliper	CALIPER MEAN	Mm	HiRAT
Borehole azimuth magnetic north	AZIMUTH MN	Deg	HiRAT
Borehole Inclination from horizontal	DIP	Deg	HiRAT
360° orientated acoustic travel time	TRAVEL TIME	100 ns	HiRAT
360° orientated acoustic travel time	AMPLITUDE	-	HiRAT

Das Ziel der Bohrlochmessungen bestand in der Bestimmung der physikalischen Eigenschaften des Gesteins im Umfeld der Bohrung. Dazu gehören: Gesteinstyp, Kluftanzahl, Erkennung von Deformationszonen. Ebenso wurden die Messungen genutzt, um Veränderungen in den physikalischen Eigenschaften der Bohrlochflüssigkeit festzustellen.

NIELSEN et al. (2005)

Bohrloch-TV: Messung mit dem System BIPS 1500; mit dem Verfahren wird ein digitales Abbild der Bohrlochwand geliefert; Ziel: Charakterisierung des Gesteins; Erkundung von Störungen und Bestimmung von deren Richtung.

SKB (2006a)

Qualität: 3 Quantität: 3

B1.4 Geol. Kartierung

Die Kartierung (Lithologie und Stratigraphie) wurde im Untersuchungsgebiet und darüber hinaus (Kantenlänge ca. 5,5 × 5 km) im Maßstab 1 : 10.000 durchgeführt, Strukturen wurden eingemessen (735 Messungen), Proben für Analysen genommen und Schürfe angelegt.

BERGMAN et al. (2004)

Aufschlusskartierung zur Abgrenzung der verschiedenen Gesteinstypen an 2.119 Aufschlüssen.

OLOFSSON et al. (2007)

Von 2002 bis 2003 wurden die quartären Sedimente im Untersuchungsgebiet kartiert und im Anschluss mit den Ergebnissen aus den Proben der Schlagbohrungen (B1.5) abgeglichen.

ALBRECHT (2007)

Qualität: 3 Quantität: 3

Bei der Kartierung der quartären Sedimente im Küstenbereich zwischen der Festlandskarte und der Meeresbodenkarte (> 3 m Wassertiefe) wurden etwa 140 Einheiten ausgehalten.

ISING (2005)

Qualität: 3 Quantität: 3

Qualität: Abschätzung der Stufe 3, da die Kartierungen einheitlich erfolgten, kann davon ausgegangen werden, dass Proben genommen und soweit möglich auch Messungen durchgeführt wurden. Quantität: Abschätzung der Stufe 3, da die Kartierung vermutlich im gleichen Maßstab durchgeführt wurde wie die auf dem Festland.

B1.5 Bohrungen

Allgemein:

21 Kernbohrungen wurden im Untersuchungsgebiet in 10 Bereichen (bis März 2007 entstehen 2 weitere Bereiche) abgeteuft (4 flache 100 bis 300 m, 17 tiefe ca. 450 bis 1.000 m). Bei den Bereichen handelt es sich um eine Zone von einigen hundert Metern um die Kernbohrung, die als „drill site“ (DS) bezeichnet wird; in diesem Bereich werden zusätzlich Schlagbohrungen abgeteuft und Grundwassermessstellen eingerichtet. Bis März 2007 gibt es zu den 12 mitteltiefen bis tiefen Kernbohrungen entsprechend 12 DS. (Bsp.: KFM10A (DS10) enthält zusätzlich 1 Schlagbohrung und 9 Messstellen).

OLOFSSON et al. (2007)

Insgesamt sind 25 Kern- und 38 Schlagbohrungen geplant.

FOLLIN et al. (2007)

Schlagbohrungen:

38 Schlagbohrungen wurden im Untersuchungsgebiet in 10 Bohrungsbereichen abgeteuft, um die Gesteinstypen in der Tiefe abzugrenzen, (Ergebnisse von 33 Bohrungen (S. 15) wurden verwendet).

OLOFSSON et al. (2007)

In 19 Schlagbohrungen wurden von 2003 bis 2006 Lockergesteinsproben entnommen, um eine stratigraphische Einstufung der quartären Sedimente vorzunehmen. Pro Bohrung wurden ca. 23 Proben genommen, dabei wurde alle 0,5 m durchschnittlich 1 l Probenvolumen gewonnen. Von 2 weiteren Bohrungen wurden die Schichtenverzeichnisse des Bohrmeisters verwandt.

ALBRECHT (2007)

Während des Abteufens der Schlagbohrungen wurden verschiedene Gesteinsproben genommen und in Probenahmebehältern gesammelt. Die Probenahme der Lockergesteinsbedeckung erfolgte jeden Bohrmeter, die des Bohrkleins im Festgestein jeden dritten Meter, diese Probe setzt sich aus Material zusammen, das ebenfalls jeden Meter genommen wurde. Es handelt sich deshalb um eine Mischprobe über den Bereich von drei Bohrmeter.

CLAESSON & NILSSON (2007a)

Im Anschluss an die Bohrphase wurde die Bohrung 30 Minuten lang mit Druckluft von verbliebenem Bohrklein gereinigt.

CLAESSON & NILSSON (2007a)

Qualität: 2 Quantität: 2

Kernbohrungen (Beispiel KFM10A; CLAESSON & NILSSON (2007b)):

- Teleskopbohrungen: die ersten 60 bis 100 m werden als Schlagbohrung mit 200 bis 250 mm Durchmesser abgeteuft; ab dann bis zur Endteufe als Kernbohrung mit ca. 77 mm Durchmesser. Ergänzend wird eine 100-m-Kernbohrung in der Nähe gebohrt.
- Im Bereich des Schlagbohranteils der Bohrung werden dem Bohrklein pro Bohrmeter Proben entnommen, die mit Druckluft gefördert werden. Die Kerne werden, soweit möglich, über den gesamten Rest der Bohrung gewonnen.
- Während des Bohrens wird die Durchflussrate, der Druck, die elektr. Leitfähigkeit und der Gehalt an gelöstem Sauerstoff in der Bohrspülung und im Rückfluss gemessen. Für die Messungen wird das „drilling monitoring system“ verwendet, mit dem auch Spülungsproben genommen werden können, um den Uraningehalt zu überprüfen. Auch der GW-Stand wird in der Bohrphase alle 10 Sekunden aufgezeichnet. Außerdem werden im Schlagbohrteil Druckluftpumpversuche durchgeführt, bei denen eine Mischung aus Bohrspülung, Bohrklein und Formationswasser gefördert wird.

- Hydraulische Tests und Wasserprobenahmen werden normalerweise alle 100 m und beim Auftreten größerer Störungszonen durchgeführt.
- Absolutdruckmessungen werden während der Bohrpausen vorgenommen.
- Im Anschluss an die Bohrphase wird die Bohrlochwand abgefilmt, um die Bohrung zu kartieren.

Insgesamt sind 25 Kernbohrungen geplant.

FOLLIN et al. (2007)

Qualität: 3 Quantität: 2

Lockergesteinsbohrungen/Grundwassermessstellen (GWM):

Bohrungen im Lockergestein wurden als Schlag- oder Schneckenbohrungen ausgeführt. Bei den Schlagbohrungen wird das Bohrklein pro Bohrmeter mit Druckluftförderung beprobt.

CLAESSON & NILSSON (2007b)

Im August 2005 und Februar 2006 wurden an insgesamt 36 Lockergesteinsbohrungen und GWM Einstufungen der quartären Stratigraphie an Kernen (Handbohrungen bis ca. 2 m) und Proben (z. B. von Schneckenbohrungen) vorgenommen.

LOKRANTZ & HEDENSTRÖM (2006)

Bis 2005 wurden über 65 Lockergesteinsbohrungen im Quartär gebohrt.

SKB (2005)

Qualität: 2 Quantität: 2

B1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B1.7 Feldmessungen - Geochemie

B1.8 Feldmessungen - Geomechanik

B1.9 Labor

Für 18 verschiedene Gesteinsgruppen, entsprechend der SKB-Codebezeichnung aus der geologischen Oberflächen- bzw. Bohrlochkartierung, mit einer Gesamtprobenanzahl von 150 Stück wurden die mittleren Variationsbereiche für Dichte, Porosität, magnetische Suszeptibilität sowie der elektrische Gesteinswiderstand in Frischwasser bestimmt (SKB, 2005a, Tab. 5-3). Zusätzlich wurden von ca. 200 Proben die mittleren Urangehalte und die natürliche Strahlungsaktivität ermittelt (SKB, 2005a, Tab. 5-4).

Qualität: 2 Quantität: 2 (Standardverfahren, wobei die lithologische Streuung sehr hoch ist)

B1.10 Untertage Geophysik

B1.11 Untertage geol. Kartierung

B1.12 Untertage Bohrungen

B1.13 Untertage In-situ Messungen

B1.14 Untertage Labor

B2 Geometrie

B2.1 Fernerkundung

B2.2 Geophysik (übertägig)

B2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B2.4 Geol. Kartierung

Aufschlusskartierung zur Ermittlung der Verbreitung von unterschiedlichen Gesteinstypen an 2.119 Aufschlüssen.

OLOFSSON et al. (2007)

Die Kartierung (Lithologie und Stratigraphie) wurde im Untersuchungsgebiet und darüber hinaus (Kantenlänge ca. 5,5 x 5 km) im Maßstab 1 : 10.000 durchgeführt; Strukturen wurden eingemessen (735 Messungen), Proben für Analysen genommen und Schürfe angelegt.

BERGMAN et al. (2004)

Qualität: 3 Quantität: 3

B2.5 BohrungenAllgemein:

Die Bohrungen und deren Beprobung (s. B1.5) wurden auch genutzt, um Informationen zur Geometrie zu gewinnen.

CLAESSON & NILSSON (2007b)

21 Kernbohrungen (25 Bohrungen bis März 2007) wurden im Untersuchungsgebiet in 10 Bohrungsbereichen abgeteuft (4 flache 100 bis 300 m, 17 tiefe ca. 450 bis 1.000 m).

OLOFSSON et al. (2007)

Qualität: 3 Quantität: 2

38 Schlagbohrungen wurden im Untersuchungsgebiet in 10 Bohrungsbereichen abgeteuft.

OLOFSSON et al. (2007)

Qualität: 2 Quantität: 2

Lockergesteinsbohrungen/GWM

Qualität: 2 Quantität: 2

B2.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B2.7 Feldmessungen - Geochemie****B2.8 Feldmessungen - Geomechanik****B2.9 Labor****B2.10 Untertage Geophysik****B2.11 Untertage geol. Kartierung****B2.12 Untertage Bohrungen****B2.13 Untertage In-situ-Messungen****B2.14 Untertage Labor****B3 Makro-Struktur****B3.1 Fernerkundung****B3.2 Geophysik (übertägig)**Seismik:

Die reflexionsseismischen Messungen fanden 2002 (stage 1, JUHLIN et al., 2002) und 2005 (stage 2, JUHLIN & PALM, 2005) statt. Die Messungen erfolgten auf 10 Profilen, deren Länge zwischen 1 und 4,3 km variierte (ca. 2.100 Anregungspunkte unter Verwendung der mechanischen Quelle VIBSIST). Der Abstand der Anregungspunkte und der Geophonpunkte betrug jeweils 10 m. Es konnten Aussa-

gen bis in eine Tiefe von ca. 2 km gewonnen werden. Die Profile neben dem Kraftwerk und an der Küste zeigten eine eingeschränkte Qualität aufgrund eines relativ hohen Störpegels.

Die nahezu senkrecht einfallenden Hauptstörungen im Gebiet sind in den seismischen Ergebnissen kaum zu erkennen, jedoch zeichnen sich die flach einfallenden Störungen deutlich ab. Die integrierte Interpretation beider seismischer Kampagnen und der Daten aus den Bohrungen KFM02A, KFM03A und KFM03B haben gezeigt, dass die markanten, flach einfallenden Reflektoren im SE-Teil des potenziellen Standortes mit hydraulisch wirksamen Störungszonen korrespondieren. Die seismischen Ergebnisse können deshalb von großer Bedeutung für die Modellierung speziell von wasserführenden Störungen sein.

SKB (2006a, Kap. 2.4.2)

Refraktionsseismische Messungen (September 2004) im Gebiet um Forsmark mit insgesamt 7,3 km Profillänge auf 12 Profilen. Zielsetzung ist die Korrelation von Lineamenten, die aus aeromagnetischen und geoelektrischen Messungen bekannt sind, mit den durch die Refraktionsseismik ermittelten Kompressionswellengeschwindigkeiten im Festgestein. Darüber hinaus soll die Mächtigkeit der Lockergesteinsbedeckung bestimmt werden, um geeignete Stellen für Schürfe zur detaillierten Untersuchung des Festgesteins zu finden.

Die Anregung der seismischen Wellen erfolgte mit Dynamitquellen, die Aufzeichnung mit 10 Hz-Geophonen (5 m Abstand) und einer 24-kanaligen Messapparatur ABEM Terraloc MK6.

Die Resultate der refraktionsseismischen Messungen zeigen eine geringmächtige Überdeckung mit einer durchschnittlichen Mächtigkeit von 2,85 m und einer maximalen Mächtigkeit von knapp 10 m. Die Überdeckung besteht aus ungesättigten bis vollständig wassergesättigten sandigen Moränen mit Geschwindigkeiten zwischen 350 m/s und 1.900 m/s. Die Geschwindigkeit des Festgesteins liegt, bis auf wenige Niedriggeschwindigkeitsanomalien, bei 5.000 bis 5.700 m/s, was auf ein homogenes Ergussgestein hindeutet. Die Resultate beruhen ausschließlich auf den refraktionsseismischen Messungen, es wurden keine anderen Informationen, z.B. aus Bohrungen, mit in die Interpretation einbezogen.

TORESSON (2005)

Qualität: 2 Quantität: 2

Die aerogeophysikalischen Messungen (s. B1.2) wurden vor allem auch zur Interpretation von Lineamenten herangezogen. Dabei erfolgte sowohl eine methodenspezifische als auch eine integrative Interpretation unter Abgleich mit den topografischen Aufnahmen.

ISAKSSON et al. (2005)

Die Erkundung der Lineamente basierte stark auf den magnetischen Messungen und mit deren Hilfe wurde sowohl das regionale als auch das lokale Störungsmuster mit interpretiert.

SKB (2006a), Kap. 3.2

Mise-a-la-Masse-Messungen:

Diese Messungen erfolgten 2004 mit dem Ziel, den Ausbiss der in Bohrung HFM14 angetroffenen Störungzone zu erkunden. Dazu wurde in ca. 100 m Tiefe mit einer Stromelektrode in die Störungzone eingespeist und das resultierende Potenzial entlang von zwei Profilen mittels unpolarisierbarer Elektroden erfasst. Der Test wurde von den Autoren als erfolgreich bewertet, da das Potenzialfeld Hinweise auf den möglichen Ausbiss liefert.

GUSTAFSSON & NISSEN (2004)

Im Vorfeld verschiedener Bohrungen (Bohrplätze 1 - 5, SKB (2006a)) wurden magnetische und elektromagnetische Messungen durchgeführt, um die an den geplanten Bohrplätzen vorhandenen Störungen zu erkennen und damit die Bohrpositionen zu optimieren (siehe z.B. PITKÄNEN & ISAKSSON, 2003).

Qualität: 3 Quantität: 3

Hier eine gemeinsame Bewertung für die nicht-seismischen Verfahren, die häufig in Kombination angewendet und in der Regel integrativ interpretiert wurden. Qualität 3, weil diese Verfahren wesentliche Beiträge für die Lineament-Erkundung liefern konnten.

B3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

siehe auch B1.3

Das Ziel der Bohrlochmessungen bestand in der Bestimmung der physikalischen Eigenschaften des Gesteins im Umfeld der Bohrung. Dazu gehören: Gesteinstyp, Kluftanzahl, Erkennung von Deformationszonen. Ebenso wurden die Messungen genutzt, um Veränderungen in den physikalischen Eigenschaften der Bohrlochflüssigkeit festzustellen.

NIELSEN et al. (2005)

Bohrloch-Radar: Messung mit einem RAMAC-GPR-System im Frequenzbereich von 20 MHz bis 250 MHz; primäres Ziel: Erkundung von Störungszonen.

Bohrloch-TV: Messung mit dem System BIPS 1.500; mit dem Verfahren wird ein digitales Abbild der Bohrlochwand geliefert; Ziel: Charakterisierung des Gesteins; Erkundung von Störungen und Bestimmung von deren Richtung.

SKB (2006a)

In zwei Bohrungen (KFM01A und KFM02A) wurden VSP-Messungen durchgeführt, um das Einfallen bekannter Störungen bzw. Bruchzonen im Umfeld der Bohrungen besser einschätzen zu können. Speziell sollten Lage und Richtung von flach einfallenden Störungen bestimmt werden, die bei einer vorher durchgeführten seismischen Erkundung erfasst wurden.

Im Ergebnis konnten verschiedene Störungen kategorisiert (starke, wahrscheinliche, mögliche) und auch deren Einfallsrichtung bestimmt werden.

COSMA et al. (2005)

Qualität: 3 Quantität: 3

B3.4 Geol. Kartierung

Bei der Kartierung im Untersuchungsgebiet im Maßstab 1 : 10.000 wurden auch die Störungszonen aufgenommen und eingemessen.

BERGMAN et al. (2004)

Aufschlusskartierung zur Abgrenzung von Deformationszonen an 2.119 Aufschlüssen, Einmessen von Frequenzen und Orientierungen von Störungen an 44 Aufschlüssen.

OLOFSSON et al. (2007)

Detailkartierung und Einmessen von Störungen in 5 von 10 Bohrungsbereichen, Detailkartierung an Aushüben entlang von Lineamenten.

OLOFSSON et al. (2007)

Qualität: 3 Quantität: 3

B3.5 BohrungenAllgemein:

Die Bohrungen und deren Beprobung (s. B1.5) werden auch genutzt, um Informationen zur Makrostruktur zu gewinnen.

CLAEISSON & NILSSON (2007b)

Kernbohrungen: Qualität: 3 Quantität: 2

Schlagbohrungen: Qualität: 2 Quantität: 2

Lockergesteinsbohr./GWM: Qualität: 2 Quantität: 2

B3.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B3.7 Feldmessungen - Geochemie**

B3.8 Feldmessungen - Geomechanik

Auf Basis der geologischen Kartiierungsergebnisse wurden für fünf Standorte teufenabhängig potenzielle bruchhafte Deformationszonen ausgewiesen, wobei ausgehend von der Risshäufigkeit und -weite die Zuverlässigkeit für das Auftreten einer Störungszone in drei Klassen (a - hohe Rissintensität außerhalb Deformationszone; b - Deformationszone wahrscheinlich oder möglich; c - Deformationszone sicher) bewertet wurden.

SKB (2005b)

Qualität: 1 Quantität: 1

Anmerkung: statistisch unsicheres Verfahren, das regional schwer übertragbar ist.

B3.9 Labor

Mittels Labormessungen der Anisotropie der magnetischen Suszeptibilität (AMS) an insgesamt 134 Oberflächenproben (jeweils bezogen auf regionale Untereinheiten) wurden die zu beobachtende Orientierung und die Intensität der magnetischen Foliation sowie Lineation bestimmt und bezüglich der tektonischen Beanspruchungsrichtungen ausgewertet. Über die regionalen Intensitätsverteilungen der AMS-Werte ließen sich ebenfalls Aussagen zur duktilen Beanspruchungsintensität in den einzelnen Teilgebieten ableiten, die gut mit den Aussagen der klassischen Gefügekunde übereinstimmten.

SKB (2005b)

Qualität: 2 Quantität: 2

B3.10 Untertage Geophysik**B3.11 Untertage geol. Kartierung****B3.12 Untertage Bohrungen****B3.13 Untertage In-situ Messungen****B3.14 Untertage Labor****B4 Mikro-Struktur****B4.1 Fernerkundung****B4.2 Geophysik (übertägig)****B4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B4.4 Geol. Kartierung**

Bei der Kartierung im Untersuchungsgebiet im Maßstab 1 : 10.000 wurden auch Korngrößen aufgenommen.

BERGMAN et al. (2004)

Qualität: 3 Quantität: 3

B4.5 Bohrungen**B4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B4.7 Feldmessungen - Geochemie****B4.8 Feldmessungen - Geomechanik****B4.9 Labor****B4.10 Untertage Geophysik****B4.11 Untertage geol. Kartierung****B4.12 Untertage Bohrungen**

B4.13 Untertage In-situ-Messungen**B4.14 Untertage Labor****B5 In-situ-Spannungsverhältnisse****B5.1 Fernerkundung****B5.2 Geophysik (übertägig)****B5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B5.4 Geol. Kartierung****B5.5 Bohrungen****B5.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B5.7 Feldmessungen - Geochemie****B5.8 Feldmessungen - Geomechanik**

Spannungsmessungen in Bohrungen (Hydrofrac und Overcoring) erfolgten in zwei Perioden zwischen 1977 bis 1984 (6 Bohrungen) und 2003 bis 2004 (4 Bohrungen). Die Messungen der drei Hauptkomponenten umfassen einen Teufenbereich zwischen 10 und 1.000 m, wobei die meisten Messungen bis 300 m durchgeführt wurden.

SKB (2005b)

Qualität: 2 Quantität: 2

Anmerkung: große Streuung (offenbar Methodenunabhängig), standortspezifische teufenabhängige Aussagen schwierig.

B5.9 Labor**B5.10 Untertage Geophysik****B5.11 Untertage geol. Kartierung****B5.12 Untertage Bohrungen****B5.13 Untertage In-situ-Messungen****B5.14 Untertage Labor****B6 Mineralogie****B6.1 Fernerkundung****B6.2 Geophysik (übertägig)****B6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B6.4 Geol. Kartierung**

Bei der Kartierung im Untersuchungsgebiet im Maßstab 1 : 10.000 wurden auch die Hauptminerale makroskopisch aufgenommen.

BERGMAN et al. (2004)

Qualität: 3 Quantität: 3

B6.5 Bohrungen**B6.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B6.7 Feldmessungen - Geochemie****B6.8 Feldmessungen - Geomechanik****B6.9 Labor**

B6.10 Untertage Geophysik**B6.11 Untertage geol. Kartierung****B6.12 Untertage Bohrungen****B6.13 Untertage In-situ-Messungen****B6.14 Untertage Labor****B7 Petrophysikalische Eigenschaften****B7a Gesteinsmechanik****B7a.1 Fernerkundung****B7a.2 Geophysik (übertägig)****B7a.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7a.4 Geol. Kartierung****B7a.5 Bohrungen****B7a.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7a.7 Feldmessungen - Geochemie****B7a.8 Feldmessungen - Geomechanik**

Auf Basis der Laboruntersuchungen sind verschiedene Stoffansätze (kontinuumsmechanisch oder diskret) zur numerischen Gesteinsmechanikbeschreibung entwickelt worden, wobei das konzeptuelle 3D-Modell wesentlich auf der geologischen Kartierung der Homogenbereiche und Störungszonen basiert.

SKB, (2005b)

Qualität: 3 Quantität: 3

B7a.9 Labor

Kernmaterial der Bohrungen KFM01A bis KFM05A sowie KFM01B und KFM03B wurde verwandt, um gesteinsmechanische Parameter zu bestimmen.

SKB, (2005b)

Die Arbeiten unterteilen sich in Untersuchungen an intaktem Material, i.e. Bestimmung von Matrixeigenschaften (1) für vier verschiedene lithologische Einheiten sowie an tektonischen Trennflächen (2).

zu 1: Zu bestimmende mechanische Kenngrößen, i.e. einaxiale Festigkeit (UC), triaxiale Festigkeit (TC) und Zugfestigkeit (TS) sowie elastische Parameter (E-Modul, Poissonzahl etc.). Hierfür wurden insgesamt 108 UC-, 55TC- und 132 Ts-Versuche durchgeführt.

Qualität: 2 Quantität: 2

Anmerkung: vergleichsweise wenig Proben, wobei sich in Bohrungen teufenabhängig eine gewisse Variabilität ergibt. Unabhängig davon, sind die gemessenen Festigkeiten sehr hoch.

zu 2: Mittels direkter Schertests wurden Mohr-Coulomb-Parameter bestimmt. Hierfür wurden ca. 50 Proben untersucht.

Qualität: 2 Quantität: 2

Anmerkung: vergleichsweise wenig Proben, wobei sich eine gewisse Variabilität ergibt. Standardauswertung.

B7a.10 Untertage Geophysik**B7a.11 Untertage geol. Kartierung****B7a.12 Untertage Bohrungen**

B7a.13 Untertage In-situ-Messungen**B7a.14 Untertage Labor****B7b Hydraulisch (z. B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)****B7b.1 Fernerkundung****B7b.2 Geophysik (übertägig)****B7b.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7b.4 Geol. Kartierung****B7b.5 Bohrungen****B7b.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7b.7 Feldmessungen - Geochemie****B7b.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7b.9 Labor**

An insgesamt ca. 200 Proben, die 7 Hauptgesteinslithologien zugeordnet werden können, wurden Porositäten mittels der BET-Methode bestimmt. Hierfür wurde zwischen intakten Proben und Proben mit sichtbaren Rissen unterschieden.

SKB, (2005b)

Qualität: 2 Quantität: 2

B7b.10 Untertage Geophysik**B7b.11 Untertage geol. Kartierung****B7b.12 Untertage Bohrungen****B7b.13 Untertage In-situ-Messungen****B7b.14 Untertage Labor****B7c Diffusion****B7c.1 Fernerkundung****B7c.2 Geophysik (übertägig)****B7c.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

Parallel zu den Laboruntersuchungen wurden Diffusionsexperimente in den Bohrungen KFM02A und KFM01A in 313 m Teufe mit Messungen des elektrischen Widerstandes durchgeführt, wobei sich ein schwacher Trend einer Zunahme der gemessenen Formationsfaktoren ergab. Unabhängig davon wird die Zahl der Messungen von den Autoren als nicht ausreichend eingeschätzt.

SKB, (2005b)

Qualität: 2 Quantität: 1

B7c.4 Geol. Kartierung**B7c.5 Bohrungen****B7c.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7c.7 Feldmessungen - Geochemie****B7c.8 Feldmessungen - Geomechanik**

B7c.9 Labor

Diffusionsexperimente an wenigen Proben aus der Bohrung KFM02A aus 555 m Teufe und der Bohrung KFM01A aus 313 m Teufe wurden parallel zu Labormessungen des elektrischen Widerstandes durchgeführt, wobei sich eine deutliche Korrelation für den gemessenen Formationsfaktor zwischen den Ergebnissen beider Verfahren ergab.

SKB, (2005b)

Qualität: 2 Quantität: 1

B7c.10 Untertage Geophysik**B7c.11 Untertage geol. Kartierung****B7c.12 Untertage Bohrungen****B7c.13 Untertage In-situ-Messungen****B7c.14 Untertage Labor****B7d Thermisch****B7d.1 Fernerkundung****B7d.2 Geophysik (übertägig)****B7d.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

In fünf Bohrungen wurde Temperaturlogging bis 1.000 m durchgeführt, es zeigten sich deutliche Unterschiede bis zu 2 Grad in gleichen Teufen, wobei aber die Teufengradienten etwa vergleichbar waren.

SKB, (2005b)

Qualität: 2 Quantität: 2

B7d.4 Geol. Kartierung**B7d.5 Bohrungen****B7d.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7d.7 Feldmessungen - Geochemie****B7d.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7d.9 Labor**

An Kernmaterial der Bohrungen KFM01A bis 04A wurden Laboruntersuchungen zur Wärmeleitfähigkeit (ca. 65 Proben: TPS-Methode; sowie 18 Proben bei Temperaturerhöhung bis 100°C) und Wärmekapazität (ca. 63 Proben: TPS-Methode; sowie 18 Proben bei Temperaturerhöhung bis 100°C) durchgeführt.

SKB, (2005b)

Qualität: 2 Quantität: 2

B7d.10 Untertage Geophysik**B7d.11 Untertage geol. Kartierung****B7d.12 Untertage Bohrungen****B7d.13 Untertage In-situ-Messungen****B7d.14 Untertage Labor****B7e THMC-Kopplung****B7e.1 Fernerkundung**

B7e.2 Geophysik (übertägig)**B7e.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7e.4 Geol. Kartierung****B7e.5 Bohrungen****B7e.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7e.7 Feldmessungen - Geochemie****B7e.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7e.9 Labor****B7e.10 Untertage Geophysik****B7e.11 Untertage geol. Kartierung****B7e.12 Untertage Bohrungen****B7e.13 Untertage In-situ-Messungen****B7e.14 Untertage Labor****B7f Chemische Eigenschaften (z. B. Oxidation, Adsorption)****B7f.1 Fernerkundung****B7f.2 Geophysik (übertägig)****B7f.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7f.4 Geol. Kartierung****B7f.5 Bohrungen****B7f.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7f.7 Feldmessungen - Geochemie****B7f.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7f.9 Labor****B7f.10 Untertage Geophysik****B7f.11 Untertage geol. Kartierung****B7f.12 Untertage Bohrungen****B7f.13 Untertage In-situ-Messungen****B7f.14 Untertage Labor*****C Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)*****C1 Hydraulisch wirksame Einheiten****C1.1 Fernerkundung****C1.2 Geophysik (übertägig)**Seismik:

siehe B3.2

Die nahezu senkrecht einfallenden Hauptstörungen im Gebiet sind in den seismischen Ergebnissen kaum zu erkennen, jedoch zeichnen sich die flach einfallenden Störungen deutlich ab. Die integrierte Interpretation beider seismischer Kampagnen und der Daten aus den Bohrungen KFM02A, KFM03A und KFM03B haben gezeigt, dass die markanten, flach einfallenden Reflektoren im SE-Teil des potenziellen Standortes mit hydraulisch wirksamen Störungszonen korrespondieren. Die seismischen

Ergebnisse können demzufolge von großer Bedeutung für die Modellierung speziell von wasserführenden Störungen sein.

SKB (2006a, Kap. 2.4.2)

Qualität: 2 Quantität: 2

C1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

C1.4 Geol. Kartierung

C1.5 Bohrungen

Allgemein:

Die Bohrungen (s. B1.5) werden auch genutzt, um hydraulische Tests, wie Einbohrlochmessungen, Interferenztests z.T. mit Tracern sowie Langzeittests und hydrochemisches Monitoring durchzuführen, um die hydraulischen Eigenschaften zu untersuchen.

z.B. CLAEISSON & NILSSON (2007b)

Kernbohrungen: Qualität: 3 Quantität: 2

Schlagbohrungen: Qualität: 2 Quantität: 2

Lockergesteinsbohr./GWM: Qualität: 2 Quantität: 2

C1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

Injektionstests wurden in Kernbohrungen in Intervallen von 100, 20 und 5 m durchgeführt, um die hydraulischen Eigenschaften der Gesteine zu bestimmen. In den 100-m-Intervallen erfolgte der Druckaufbau in 30 Minuten und der Druckabbau ebenfalls in 30 Minuten. Die Gesamtzeit des Tests betrug 105 Minuten. Bei den 20-m- und 5-m-Intervallen betrug die Zeitspanne jeweils 20 Minuten und die Gesamtzeit 70 Minuten.

z.B. WALGER et al. (2007a)

Qualität: 2 Quantität: 3

C1.7 Feldmessungen - Geochemie

C1.8 Feldmessungen - Geomechanik

C1.9 Labor

C1.10 Untertage Geophysik

C1.11 Untertage geol. Kartierung

C1.12 Untertage Bohrungen

C1.13 Untertage In-situ-Messungen

C1.14 Untertage Labor

C2 Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein

C2.1 Fernerkundung

C2.2 Geophysik (übertägig)

C2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

C2.4 Geol. Kartierung

C2.5 Bohrungen

C2.6 Feldmessungen - Geohydraulik

Absolutdruckmessungen werden in der Bohrphase der Kernbohrungen während Bohrpausen vorgenommen.

z.B. CLAESSON & NILSSON (2007b)(KFM10A)

Qualität: 1 Quantität: 3

Grundwasserstände werden an 66 Abschnitten in Kernbohrungen, an 67 Abschnitten in Schlagbohrungen und an 44 Abschnitten in Bohrungen in quartären Lockergesteinen gemessen.

FOLLIN et al. (2007)

Qualität: 2 Quantität: 3

Qualität: Abschätzung der Stufe 2, da für die Intervalle keine Angaben vorliegen, ob es sich um Doppelpacker- oder Multipacker-Tests handelt.

Während der Pumpversuche in Schlagbohrungen werden auch Druckmessungen im offenen Bohrloch vorgenommen. Die Messungen werden in den ersten 300 Sekunden jede Sekunde gemacht, von der 301. bis 600. Sekunde alle 60 Sekunden, von der 601. bis 3.600. Sekunde alle 60 Sekunden und ab dann alle 600 Sekunden.

WALGER et al. (2007b)

Qualität: 1 Quantität: 3

Das Grundwasser-Monitoring wurde an 16 Kernbohrungen (mit 85 Monitoring Intervallen), 36 Schlagbohrungen (mit 104 Monitoring-Intervallen) und 66 GWM durchgeführt, um die Eigenschaften der hydrogeologischen Einheiten charakterisieren zu können. Dazu wurde das HMS (Hydro Monitoring System) installiert, mit dem der Grundwasserspiegel und der Porenwasserdruck gemessen werden können. Die Daten wurden mit Loggern alle 10 Minuten aufgezeichnet (einige alle 5 Minuten). Der Bericht bezieht sich auf den Messzeitraum von August 2005 bis September 2006.

NYBERG & WASS (2006)

Qualität: 3 Quantität: 3

Qualität: Abschätzung der Stufe 3, da wegen der Anzahl der Intervalle von der Verwendung von Multipackern ausgegangen werden kann.

BAT-Tests:

Insgesamt wurden 10 BAT-Tests zur Messung des Porenwasserdrucks in quartären Lockergesteinen durchgeführt (keine weiteren geplant).

FOLLIN et al. (2007)

Qualität: 2 Quantität: 1

C2.7 Feldmessungen - Geochemie**C2.8 Feldmessungen - Geomechanik****C2.9 Labor****C2.10 Untertage Geophysik****C2.11 Untertage geol. Kartierung****C2.12 Untertage Bohrungen****C2.13 Untertage In-situ-Messungen****C2.14 Untertage Labor****C3 Fließ- und Speicherparameter****C3.1 Fernerkundung****C3.2 Geophysik (übertägig)**

C3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**C3.4 Geol. Kartierung****C3.5 Bohrungen****C3.6 Feldmessungen - Geohydraulik**Allgemein:

- 58 (60 geplant) Monitoring-Brunnen für Messungen des Grundwasserstandes und der hydraulischen Leitfähigkeit
- 10 Monitoring-Brunnen für Messungen des Grundwasserstandes und der hydraulischen Leitfähigkeit unter Oberflächengewässern
- 10 BAT filter tips für Messungen des Porenwasserdrucks
- 10 BAT filter tips für Wasserproben
- 6 Standrohre für Seewasserstände
- 2 Standrohre für Meerwasserstände

FOLLIN et al. (2007)

Hydraulische Tests und Wasserprobennahmen werden beim Bohren normalerweise alle 100 m durchgeführt und beim Auftreten von größeren Störungszonen.

z.B. CLAESSON & NILSSON (2007b)(KFM10A)

Durchflusssmessungen:

Die Durchflussrate des Wassers wurde während der Bohrphase der Schlagbohrungen, bei einem Bohrfortschritt von 20 cm und einer markanten Änderung des Durchflusses mit Messbehältern unterschiedlicher Größe und einer Stoppuhr ausgeführt, dabei wurde auch die Färbung des Wassers aufgenommen.

CLAESSON & NILSSON (2007a)

Qualität: 1 Quantität: 3

Impeller Flow Logging und Pumpversuche an 35 Schlagbohrungen (offenes Bohrloch).

OLOFSSON et al. (2007)

Qualität: 1 Quantität: 3

Difference-flow Logging (Posiva Flow Log) an 12 Kernbohrungen in 0,1-m-Intervallen an Störungen, insgesamt 579 Messungen.

OLOFSSON et al. (2007)

Insgesamt sind Posiva Flow Log Tests an 15 Kernbohrungen und Doppelpacker-Injektionstests (PSS) an 22 Schlagbohrungen geplant.

FOLLIN et al. (2007)

Das Flow Logging in Schlagbohrungen wird während der 10 Stunden dauernden Pumpphase der Pumpversuche durchgeführt und startet bei der Endteufe. Bei einer 100 bis 200 m langen Schlagbohrung dauert das Logging zwischen 3 und 5 Stunden. Von da an erfolgen die Messungen in 5-m-Schritten; beim Auftreten von Anomalien in 2-m-Schritten aufwärts. Ist eine Anomalie geortet, wird der Bereich noch mal in 0,5-m-Schritten gemessen. Beim Absenken der Messsonde bis zur Endteufe zu Beginn des Flow Logging werden auch die Temperatur und elektr. Leitfähigkeit gemessen.

WALGER et al. (2007b)

Qualität: 3 Quantität: 3

Injektionstests:

Doppelpacker-Injektionstests (PSS) an 17 Schlagbohrungen in 5-, 20- und 100-m-Intervallen.

OLOFSSON et al. (2007)

Doppelpacker-Injektionstests (PSS) bis Ende Juli 2005 an 3 Kernbohrungen

SKB (2006a)

Qualität: 2 Quantität: 3

Pumpversuche:

Pumpversuche und Impeller Flow Logging in 35 Schlagbohrungen (offenes Bohrloch).

OLOFSSON et al. (2007)

In den Schlagbohrungen betrug die Pumpzeit im offenen Bohrloch 10 Stunden; am Ende wurde ein Flow Logging durchgeführt. Die anschließende Wiederanstiegsphase dauerte 12 Stunden (z.B. HFM 36 - HFM38).

WALGER et al. (2007b)

Qualität: 2 Quantität: 3

Insgesamt wurden 5 Pumpversuche in quartären Lockergesteinen durchgeführt (keine weiteren geplant).

FOLLIN et al. (2007)

Pumpversuche wurden in 3 Bohrungen im quartären Lockergestein durchgeführt (Mai bis Juli 2006). Die Pumpphase betrug 3 bis 7 Tage und die Wiederanstiegsphase 2 bis 5 Tage.

ALM et al. (2006)

Qualität: 2 Quantität: 2

Interferenztests:

Bis zum Datenstopp 2.2 wurden an 8 Bohrungen (6 Schlagbohrungen und 2 Kernbohrungen) 10 Interferenztests durchgeführt, deren Dauer von einigen Stunden bis zu 3 Wochen betrug. Insgesamt sind an 10 Bohrungen (7 Schlagbohrungen und 3 Kernbohrungen) 13 Interferenztests geplant.

FOLLIN et al. (2007)

Interferenztests an 4 Kernbohrungen und 12 Schlagbohrungen

OLOFSSON et al. (2007)

Qualität: 3 Quantität: 3

(Permeameter)-Test:

(Permeameter)-Tests wurden in situ als Ausflusstests (mit Wasser und Druckluft) an 7 BAT filter tips durchgeführt, um die hydraulische Leitfähigkeit im quartären Lockergestein zu bestimmen (Mai bis Juli 2006), dabei wurde zuerst der natürliche Porenwasserdruck und dann automatisch der Druckausgleich gemessen.

ALM et al. (2006)

Qualität: 1 Quantität: 1

Slug-Tests:

Insgesamt wurden 59 Slug-Tests in quartären Lockergesteinen durchgeführt (keine weiteren geplant).

FOLLIN et al. (2007)

Slug-Tests in 11 GWM zur Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeit und des Speicherkoeffizienten im quartären Lockergestein (Mai bis Juli 2006), dabei wurden die Absenkung und der Wiederanstieg gemessen.

ALM et al. (2006)

Slug-Tests in 48 GWM im Quartär bis Datenstopp 2.1

SKB (2006a)

Qualität: 3 Quantität: 2

C3.7 Feldmessungen - Geochemie**C3.8 Feldmessungen - Geomechanik****C3.9 Labor****C3.10 Untertage Geophysik**

C3.11 Untertage geol. Kartierung**C3.12 Untertage Bohrungen****C3.13 Untertage In-situ-Messungen****C3.14 Untertage Labor****C4 Zwei-Phasenflussparameter****C4.1 Fernerkundung****C4.2 Geophysik (übertägig)****C4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C4.4 Geol. Kartierung****C4.5 Bohrungen****C4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****C4.7 Feldmessungen - Geochemie****C4.8 Feldmessungen - Geomechanik****C4.9 Labor****C4.10 Untertage Geophysik****C4.11 Untertage geol. Kartierung****C4.12 Untertage Bohrungen****C4.13 Untertage In-situ-Messungen****C4.14 Untertage Labor*****D Hydrochemie*****D1 Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)****D1.1 Fernerkundung****D1.2 Geophysik (übertägig)****D1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D1.4 Geol. Kartierung****D1.5 Bohrungen****D1.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D1.7 Feldmessungen - Geochemie****D1.8 Feldmessungen - Geomechanik****D1.9 Labor**

Isotopenanalyse für Wasserproben der HFM- und KFM-Bohrlöcher.

BATH (2006), LAAKSOHARJU et al. (2004), SKB (2005b), SKB (2006b)

¹⁴C-Analyse von 12 Proben der HFM-Bohrlöcher und 10 Proben der KFM-Bohrlöcher (nur KFM01 bis KFM09), auch für 13 Proben von dem flachen SFM-Piezometerprobengerät.

Qualität: 3 Quantität: 1

¹⁸O/¹⁶O und ²H/¹H Isotopenverhältnis-Analyse von 27 Wasserproben der HFM-Bohrlöcher und 25 Proben der KFM-Bohrlöcher.

Qualität: 3 Quantität: 1

³H-Analyse von 28 Wasserproben der HFM-Bohrlöcher und 23 Proben der KFM-Bohrlöcher, auch von 24 Proben der SFM-Löcher.

Qualität: 3 Quantität: 2

D1.10 Untertage Geophysik

D1.11 Untertage geol. Kartierung

D1.12 Untertage Bohrungen

D1.13 Untertage In-situ-Messungen

D1.14 Untertage Labor

D2 Porenwasserchemismus

D2.1 Fernerkundung

D2.2 Geophysik (übertägig)

D2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

D2.4 Geol. Kartierung

D2.5 Bohrungen

D2.6 Feldmessungen - Geohydraulik

D2.7 Feldmessungen - Geochemie

In situ wurde während der Bohrphase der Schlagbohrungen die elektr. Leitfähigkeit des Grundwassers alle 3 Bohrmeter gemessen.

CLAESSON & NILSSON (2007a)

Qualität: 1 Quantität: 3

Eh, pH sowie gelöster Sauerstoff wurden im Bohrloch mit dem CHEMMAC-Gerät und auch im gepumpten Wasser in einer Durchflussszelle an der Geländeoberfläche gemessen; 10 erfolgreiche Bestimmungen des pH und Eh von 20 Intervallen

BATH & HERMANSSON (2007), BERG et al. (2005a, b, 2006); LAAKSOHARJU et al. (2004), NILSSON & BERGELIN (2006); SKB (2005b), SKB (2006b); WACKER et al. (2003a, 2004a,b,c)

Qualität: 3 Quantität: 1

D2.8 Feldmessungen - Geomechanik

D2.9 Labor

Während der Bohrphase der Schlagbohrungen wurden Wasserproben in kleine Probenflaschen abgefüllt.

CLAESSON & NILSSON (2007a)

Grundwasser-Proben an 10 Kernbohrungen in 82 Intervallen (1 Pumpversuch, 4 geringdurchlässige Störungen, 1 beim Bohren, 16 für Komplettanalysen, 4 mit Hydrotect-Equipment, 55 Matrixporenwasser, 1 Langzeit-Grundwasser-Monitoring) (+8 Intervalle nicht verwendet), an 19 Schlagbohrungen in 17 Intervallen (13 bei Pumpversuch, 4 bei GW-Monitoring) (+3 Intervalle nicht verwendet).

GW-Proben aus Kernbohrungen in Untersuchungskampagnen mit über 3 Wochen Dauer und aus Grundwasser-Monitoring, aus Schlagbohrungen bei Pumpversuchen aus offenen Bohrlöchern und bei Grundwasser-Monitoring aus gepackten Bereichen.

OLOFSSON et al. (2007)

Bei den Pumpversuchen in Schlagbohrungen wurden Proben im offenen Bohrloch entnommen (je 3 bei den Bohrungen HFM36 + HFM37); WALGER et al. (2007b)

Einzelheiten der Beprobungsmethoden sowie der Probenanzahl; LAAKSOHARJU et al, 2004; SKB 2005, 2006b; NILSSON, A-C. (2005):

PFM: 6 Proben aus vorhandenen Brunnen (maximale Tiefe 60 m); NILSSON & BORGIEL (2005); JOHANSSON (2004);

SFM: 24 Proben von 22 flachen Piezometern (maximale Tiefe 10,5 m); NILSSON (2003);

HFM: 33 Proben von 22 Schlagbohrungen (maximale Tiefe 301 m), Beprobung im offenen Bohrloch sowie vom langfristigen Überwachungssystem; NILSSON (2003a, b, c, 2005a);

KFM: Proben von > 9 Bohrungen (maximale Tiefe 1.002 m) BERG et al. (2005a, b, 2006), LAAKSOHARJU et al. (2004), NILSSON & BERGELIN (2006) ; SKB (2005b, 2006b), WACKER et al. (2003a, 2004a,b,c):

67 Proben - davon sind 19 Proben von 20 Intervalltests als zuverlässig betrachtet (nur für die Bohrlöcher KFM01 bis KFM09 - neuere Ergebnisse sind noch nicht berichtet);

Beprobung im Rohrsystem führte zur Vermischung mit der Spülung. Diese Proben waren nicht nützlich; BERG (2005, 2006), BERG & NILSSON (2003, 2004), BERG et al. (2005), LINDQUIST & NILSSON (2006), NILSSON (2006)

Qualität: 3 Quantität: 1 (redoxempfindliche gelöste Stoffe)

Qualität: 3 Quantität: 1 (gelöste Hauptsubstanzen)

Qualität: 3 Quantität: 1 (Spurelemente)

Qualität: 3 Quantität: 1 (Mikrobe)

Qualität: 3 Quantität: 1 (Kolloide)

Qualität: 3 Quantität: 1 (gelöste Gase)

Qualität: 1 Quantität: 1 (U- und Th-Isotope)

D2.10 Untertage Geophysik

D2.11 Untertage geol. Kartierung

D2.12 Untertage Bohrungen

D2.13 Untertage In-situ-Messungen

D2.14 Untertage Labor

D3 Transporteigenschaften

D3.1 Fernerkundung

D3.2 Geophysik (übertägig)

D3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

D3.4 Geol. Kartierung

D3.5 Bohrungen

Allgemein:

Die Bohrungen und deren Beprobung (s. B1.5) werden auch genutzt, um die Transporteigenschaften des Festgesteins zu untersuchen.

CLAESSON & NILSSON (2007b)

Kernbohrungen: Qualität: 3 Quantität: 2

Schlagbohrungen: Qualität: 2 Quantität: 2

D3.6 Feldmessungen - Geohydraulik

D3.7 Feldmessungen - Geochemie

D3.8 Feldmessungen - Geomechanik**D3.9 Labor****D3.10 Untertage Geophysik****D3.11 Untertage geol. Kartierung****D3.12 Untertage Bohrungen****D3.13 Untertage In-situ-Messungen****D3.14 Untertage Labor****D4 Kolloide usw.****D4.1 Fernerkundung****D4.2 Geophysik (übertägig)****D4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D4.4 Geol. Kartierung****D4.5 Bohrungen****D4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D4.7 Feldmessungen - Geochemie****D4.8 Feldmessungen - Geomechanik****D4.9 Labor****D4.10 Untertage Geophysik****D4.11 Untertage geol. Kartierung****D4.12 Untertage Bohrungen****D4.13 Untertage In-situ-Messungen****D4.14 Untertage Labor****ZITATE**

(Die mit * gekennzeichneten Zitate befinden sich auf dem beiliegenden Datenträger; SKB-Berichte können von der SKB-Webseite heruntergeladen werden.)

AARO, S. (2003): Regional gravity survey in the Forsmark area, 2002 and 2003, SKB P-03-42.

ALBRECHT, J. (2007): Forsmark site investigation, - Soil stratigraphy based on samples and protocols in the Forsmark area, SKB P-07-01, Svensk Kärnbränslehantering AB.

ALM, P., GEBREZGHI, M. & WERNER, K. (2006): Forsmark site investigation - Supplementary hydraulic tests in Quaternary deposits, P-06-224, Svensk Kärnbränslehantering AB.

*BATH, A. (2006) Geochemical investigations of groundwater stability. SKI Report 06-12. Swedish Nuclear Power Inspectorate, Stockholm.

*BATH, A. & HERMANSSON, H.-P. (2007): Variability and uncertainties of key hydrochemical parameters for SKB sites. SKI Report 2007-03. Swedish Nuclear Power Inspectorate, Stockholm.

BERG, C., WACKER, P. & NILSSON, A.-C. (2005a): Chemical characterisation in borehole KFM06A – Results from the investigated sections at 266.0-271.0 m, 353.5-360.6 m and 768.0-775.1 m. SKB Report P-05-178.

BERG, C., WACKER, P. & NILSSON, A.-C. (2005b): Chemical characterisation in borehole KFM07A – Results from the investigated section at 848.0-1001.6 m. SKB Report P-05-170.

- BERG, C., BERGELIN, A., WACKER, P. & NILSSON, A.-C. (2006): Hydrochemical characterisation in Borehole KFM08A. SKB Report P-06-63.
- BERGMAN, T., ANDERSSON, J., HERMANSSON, T., ZETTERSTRÖM EVINS, L., ALBRECHT, L., STEPHENS, M. B., PETERSSON, J. & NORDMAN, C., (2004): Forsmark site investigation Bedrock mapping. Stage 2 (2003) - Bedrock data from outcrops and the basal parts of trenches and shallow boreholes through the Quaternary cover, March 2004, SKB P-04-91, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- CLAESSON, L.-Å. & NILSSON, G. (2004a): Drilling of the telescopic borehole KFM01A at drilling site DS1. SKB Report P-03-32.
- CLAESSON, L.-Å. & NILSSON, G. (2004b): Drilling of the telescopic borehole KFM02A at drilling site DS2. SKB Report P-03-52.
- CLAESSON, L.-Å. & NILSSON, G. (2007a) Forsmark site investigation - Drilling of a flushing water well, HFM36, a groundwater monitoring well in solid bedrock, HFM37, and a groundwater monitoring well in soil, SFM0109, March 2007, SKB P-07-43, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- CLAESSON, L.-Å. & NILSSON, G. (2007b): Forsmark site investigation - Drilling of the telescopic borehole KFM10A at drill site DS10, March 2007, SKB P-06-172, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- COSMA, C., ENESCU, N. & BALU, L. (2005): Vertical seismic profiling from the boreholes KFM01A and KFM02A, SKB P-05-168.
- FOLLIN, S., JOHANSSON, P.-O., LEVÉN, J., HARTLEY, L., HOLTON, D., MCCARTHY, R. & ROBERTS, D. (2007): Updated strategy and test of new concepts for groundwater flow modelling in Forsmark in preparation of site descriptive modelling stage 2.2, January 2007, SKB R-07-20, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- GUSTAFSSON, J. & NISSEN, J. (2004): Mise-à-la-masse measurements an experiment to test the possibility for detecting the outcropping of the fracture zone DZ2 in HFM14, SKB P-04-305.
- ISING, J. (2005): Forsmark site investigation - Mapping of Quaternary deposits on the bottom of shallow bays outside Forsmark, SKB P-06-88, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- ISAKSSON, H. & KEISU, M. (2005): Interpretation of airborne geophysics and integration with topography Stage 2 (2002–2004) An integration of bathymetry, topography, refraction seismics and airborne geophysics, SKB P-04-282.
- JOHANSSON, P.-O. (2004): Undisturbed pore water sampling and permeability measurements with BAT filter tips – Soil sampling for pore water analyses. SKB Report P-04-136.
- JUHLIN, CH., BERGMAN, B. & PALM, H. (2002): Reflection seismic studies in the Forsmark area - stage 1, SKB R-02-43.
- JUHLIN, CH. & PALM, H. (2005): Reflection seismic studies in the Forsmark area, 2004: Stage 2, SKB R-05-42.
- LAAKSOHARJU, M., GIMENO, M., AUGQUÉ, L., GÓMEZ, J., SMELLIE, J., TULLBORG, E.-L. & GURBAN, I. (2004): Hydrogeochemical evaluation of the Forsmark site, model version 1.1. Report R-04-05. SKB, Stockholm.
- LOKRANTZ, H. & HEDENSTRÖM, A. (2006): Forsmark site investigation - Description, sampling and analyses of Quaternary deposits in connection with groundwater monitoring wells, pumping wells and BAT filter tips, SKB P-06-92, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- NIELSEN, U. T., RINGGAARD, J. & DAHL, J. F. (2005): Geophysical borehole logging in the boreholes KFM07A, KFM08A and KFM08B, SKB Report P-05-159.
- NILSSON, A.-C. (2003a): Sampling and analyses of groundwater in percussion drilled boreholes and shallow monitoring wells at drillsite DS1 – Results from the percussion boreholes HFM01, HFM02, KFM01A (borehole section 0 - 100 m) and the monitoring wells SFM0001, SFM0002 and SFM0003. SKB Report P-03-47.
- NILSSON, A.-C. (2003b): Sampling and analyses of groundwater in percussion drilled boreholes and shallow monitoring wells at drillsite DS2 – Results from the percussion boreholes HFM04, HFM05, KFM02A (borehole section 0 - 100 m) and the monitoring wells SFM0004 and SFM0005. SKB Report P-03-48.

- NILSSON, A.-C. (2003c): Sampling and analyses of groundwater in percussion drilled boreholes at drill-site DS3 – Results from the percussion boreholes HFM06 and HFM08. SKB Report P-03-49.
- NILSSON, A.-C. (2005a): Sampling and analyses of groundwater from percussion drilled boreholes – Results from percussion drilled boreholes HFM20, HFM21 and HFM22. SKB Report P-05-48.
- NILSSON, A.-C. (2005b): Platsundersökningar: Forsmark och Oskarshamn – Översikt över provhanterings och analysrutiner för vattenprov, SKB Report P-05-198.
- NILSSON, K. & BERGELIN, A. (2006): Hydrochemical characterisation in borehole KFM09A. Results from the investigated section at 785.1-792.2 m. SKB Report P-06-217.
- NILSSON, A.-C. & BORGIEL, M. (2005a): Sampling and analyses of near surface groundwaters – Results from sampling of shallow soil monitoring wells, BAT pipes, a natural spring and private wells May 2003 - April 2005. SKB Report P-05-171.
- NISSEN, J. (2004): Ground penetrating radar (GPR) and resistivity (CVES) surveys – Interpretation of new and previous measurements. SKB P-04-105.
- NYBERG, G. & WASS, E. (2006): Forsmark site investigation - Hydro Monitoring Program, Report for August 2005 – September 2006, P-06-263, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- OLOFSSON, I., SIMEONOV, A., STEPHENS, M., FOLLIN, S., NILSSON, A. C., RÖSHOFF, K., LINDBERG, U., LANARO, F., FREDRIKSSON, A. & PERSSON, L. (2007): Site descriptive modelling Forsmark, stage 2.2, - A fracture domain concept as a basis for the statistical modelling of fractures and minor deformation zones, and interdisciplinary coordination, SKB R-07-15, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- PITKÄNEN, T. & ISAKSSON, H. (2003): A ground geophysical survey prior to the siting of borehole KFM04A, SKB P-03-55.
- RØNNING, J. S., KIHLE, O., MOGAARD, J. O., WALKER, P., SHOMALI, H., HAGTHORPE, P., BYSTRÖM, S., LINDBERG, H. & THUNEHED, H. (2003): Helicopter borne geophysics at Forsmark, Östhammar, Sweden, SKB P-03-41.
- SKB (2005a): Preliminary safety evaluation for the Forsmark area - Based on data and site descriptions after the initial site investigation stage, August 2005, TR-05-16, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB (2005b): Hydrogeochemical evaluation. Preliminary site description, Forsmark area – version 1.2. R-05-17, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB (2006a): Site descriptive modelling Forsmark stage 2.1 - Feedback for completion of the site investigation including input from safety assessment and repository engineering, May 2006, SKB R-06-38, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB (2006b): Hydrogeochemical evaluation of the Forsmark site, modelling stage 2.1 – issue report, SKB Report R-06-69.
- THUNEHED, H. & PITKÄNEN, T. (2003): Electric soundings supporting inversion of Helicopterborne EM-data, SKB P-03-44.
- THUNEHED, H. (2005): Inversion of helicopter-borne electromagnetic measurements, SKB P-04-157.
- TORESSON, B. (2005): Seismic refraction survey 2004, SKB P-05-12.
- WACKER, P., BERGELIN, A. & NILSSON, A.-C. (2003): Complete hydrochemical characterisation in KFM01A – Results from two investigated sections, 110.1-120.8 and 176.8-183.9 metres. SKB Report P-03-94.
- WACKER, P., BERGELIN, A. & NILSSON, A.-C. (2004a): Hydrochemical characterisation in KFM02A – Results from three investigated sections; 106.5-126.5, 413.5-433.5 and 509.0-516.1 m. SKB Report P-04-70.
- WACKER, P., BERGELIN, A., BERG, C. & NILSSON, A.-C. (2004b): Hydrochemical characterisation in KFM03A – Results from six investigated borehole sections: 386.0-391.0 m, 448.0-453.0 m, 448.5-455.6 m, 639.0-646.1 m, 939.5-946.6 m, 980.0-1001.2 m. SKB Report P-04-108.
- WACKER, P., BERGELIN, A., BERG, C. & NILSSON, A.-C. (2004c): Hydrochemical characterisation in KFM04A – Results from two investigated borehole sections, 230.5-237.6 and 354.0-361.1 metres. SKB Report P-04-109.

- WALGER, E., HJERNE, C. & LUDVIGSON, J.-E. (2007a): Forsmark site investigation – Single-hole injection tests in borehole KFM10A, February 2007, SKB P-07-31, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- WALGER, E., JÖNSSON, S. & LUDVIGSON, J.-E. (2007b): Forsmark site investigation - Pumping tests and flow logging Boreholes HFM36, HFM37 and HFM38, January 2007, SKB P-07-22, Svensk Kärnbränslehantering AB.

FORSMARK		Erkundungs- methoden: 1-9 übertägig 10-14 untertägig	Fernerkundung	Geophysik (übertägig)	Geophysik (im Bohrloch)	Geol. Kartierung	Bohrungen	Feldmessungen - Geohydraulik	Feldmessungen - Geochemie	Feldmessungen - Geomechanik	Labor	Geophysik	geologische Kartierung	Bohrungen	In-situ- Messungen	Labor
Inhalte der Themenkomplexe		Bezeichnungen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Regionale Geologie (20 km*20 km)																
Wirtsgestein / Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)	A1															
Stratigraphie	A2															
Strukturgeologie und Tektonik (Störungsmuster, Faltung)	A3															
Regionales Spannungsfeld	A4															
Temperatur und Wärmeleitfähigkeit	A5															
Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z.B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)	A6															
Rohstoffvorkommen	A7															
Eigenschaften des Wirtsgesteins und des Deckgebirges am Standort																
Lithologie	B1															
Geometrie (Tiefenlage, Ausdehnung)	B2															
Makro-Struktur (Großgefüge: Störungen / Faltungen / Deformationen / Klüfte)	B3															
Mikro-Struktur (Korngefüge / Porenstruktur)	B4															
In-situ-Spannungsverhältnisse	B5															
Mineralogie	B6															
Petrophysikalische Eigenschaften (Probenmaßstab):																
Gesteinsmechanik (z.B. Festigkeit, Kriechen)	B7a															
Hydraulik (z.B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)	B7b															
Diffusion	B7c															
Thermik	B7d															
THMC-Kopplung	B7e															
Chemismus (z.B. Oxidation, Adsorption)	B7f															
Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)																
Hydraulisch wirksame Einheiten	C1															
Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein	C2															
Fließ- und Speicherparameter	C3															
Zwei-Phasenfluss-Parameter	C4															
Hydrochemie																
Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)	D1															
Porenwasserchemismus	D2															
Transporteigenschaften	D3															
Kolloide usw.	D4															
			Erkundungsaktivität													

Standort:	Insel Olkiluoto (Finnland)
Name - Typ:	ONKALO - das erste in Auffahrung befindliche Endlager für HLW
Lage:	in SW-Finnland an der Ostseeküste, ca. 13 km nördlich von Rauma und ca. 10 km westlich von Eurajoki; ca. 250 km nordwestlich von Helsinki
Betreiber:	Posiva Oy
Fläche:	Das Untersuchungsgebiet hat eine Fläche von etwa 4 km ² ; das ONKALO-Gebiet selbst, das als Teil des Untersuchungsgebietes den Zugangstunnel, den Zugangsschacht, einen potenziellen Ventilations-/Kanister-Schacht und einen großen Teil des ersten geplanten Einlagerungsbereiches umfasst, hat eine Größe von ca. 1 km x 0,75 km.
Erschließung/ Teufenlage:	Die Errichtung des Endlagers ist in einer Tiefe von 400 m bis 600 m geplant. Nach dem Abschluss des übertägigen Untersuchungsprogrammes (u.a. Bohrungen) wurde 2004 mit der Auffahrung des Zugangstunnels begonnen; es wird angenommen, dass die Auffahrung ca. 6 bis 7 Jahre andauert.
Geologie:	Das 1.800 bis 1.900 Mio. Jahre alte Grundgebirge am Endlagerstandort besteht hauptsächlich aus metasedimentären, migmatitischen Mika-Gneisen. Diese Gneise sind durchzogen von Granodioriten, grobkörnigen Graniten und granitischen Pegmatiten. Das Gelände ist relativ eben, der höchste Punkt liegt 18 mNN. Die Mächtigkeit der Bodenschicht über dem Festgestein schwankt zwischen 2 und 7 m mit einem Maximum von 20 m.
Historie:	Die ersten Überlegungen zur Suche eines Endlagerstandortes fanden 1979 statt. Danach begann eine regionale Auswahl geeigneter geologischer Einheiten, mit dem Ergebnis, dass 1986 insgesamt 85 potenzielle Untersuchungsgebiete ausgewählt wurden. 1987 begannen die Untersuchungen in Olkiluoto; die erste geologische Kartierung startete 1988. In den nachfolgenden Jahren wurden bis in das Jahr 2000 extensive geologische, geophysikalische, gesteinsmechanische, hydrogeologische und hydrogeochemische Untersuchungen durchgeführt. Dazu kamen Probenahmen in Ausbissbereichen, Erkundungsschürfen und aus Kernbohrungen. Im Jahr 2000 erfolgte eine prinzipielle Entscheidung für den Standort Olkiluoto als Endlagerstandort, welche 2001 auch vom Parlament bestätigt wurde. Danach begannen ergänzende Untersuchungen zur Erfassung der Eigenschaften des Gesteins am Standort, um zum einen Daten im ungestörten Zustand (Baseline-Daten) und zum anderen Informationen für die Konstruktion von ONKALO zu gewinnen. Die Auffahrung des Zugangstunnels und die damit verbundene direkte Erkundung des Wirtsgesteins begannen 2004. Die Eröffnung des Lizenzierungsverfahrens für das Endlager wird für 2010 - 2012 erwartet.

Onkalo, FinnlandINFO:

Start von Verfahrensschritt 4 ab 1993, Start von Verfahrensschritt 5 ab 2004.

Untersuchungen zur regionalen Geologie aufgrund der unterschiedlichen Standortverwendung erfolgten schon früher.

„Site area“ in einigen Posiva-Berichten für unterschiedliche Bereiche verwendet. Die in dieser Zusammenstellung verwendete Standortregion (= site area) entspricht einem Bereich von ca. 2 x 2 km, in dem sowohl die Tiefbohrungen als auch die Schürfe und der Bereich der Untertageanlagen liegen.

Working-Reports auf Posiva-Internetseite erst ab 2003, jedoch nicht vollständig.

Posiva-Berichte auf der Internetseite erst ab dem Jahr 2000.

A Regionale Geologie (20 km x 20 km)**A1 Wirtsgestein/Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)****A1.1 Fernerkundung****A1.2 Geophysik (übertägig)**

Der aktuelle Kenntnisstand über das Grundgebirge basiert auf der gemeinsamen Interpretation von geologischen und geophysikalischen Ergebnissen. Hauptaufgabe der Geophysik war es, die geologischen Kenntnisse über das Grundgebirge zu ergänzen, da nur in 4% der Untersuchungsfläche an der Oberfläche ansteht.

POSIVA (2003)

Obwohl die geologische Kartierung in Bereichen, wo das Grundgebirge nicht oder nur in wenigen Aufschlüssen ansteht, durch flache Bohrungen ergänzt wurde, gibt es große Bereiche, in denen sich die Kartierung der verschiedenen Gesteinstypen ausschließlich auf die geophysikalischen Ergebnisse stützt.

McEWEN (2000)

Seismik:

Seismische Refraktionsmessungen 1974 bis 2002 sowie HSP-Reflexionsprofile (horizontal seismic receiver profiles), 1992 bis 2002:

- die refraktionsseismischen Messungen liefern Geschwindigkeiten des Grundgebirges und Mächtigkeiten der Lockerbedeckung
- die HSP-Reflexionsprofile enthalten 3D-Informationen über Reflexionen im Umfeld von 500 bis 1.000 m um die Profile herum

Refraktionsseismische Messungen liefern Informationen über die Mächtigkeit der Lockergesteinsbedeckung.

POSIVA (2003)

Qualität: 2 Quantität: 2

Magnetik:

Im Rahmen der Standortauswahl wurden 1988 aerogeophysikalische Untersuchungen durchgeführt, darunter auch Messungen des magnetischen Totalfeldes und des magnetischen Gradienten:

- 100 m Profilabstand (NS) und alle geraden km Tie-Lines (EW)
- zusätzliche eine Messung im Zentralteil der Insel mit 100 m Profilabstand WNW-ESE
- Messung des magnetischen Totalfeldes und Gradiometermessungen
- der Messpunktabstand variiert zwischen 3 und 25 m

Oberflächengeophysik 1989:

- Messung des magnetischen Totalfeldes und Gradiometermessungen
- Messung auf N-S-Profilen, Profilabstand: 50 m, Punktabstand: 5 bis 10 m

Mit Hilfe der magnetischen Daten erfolgte eine Abgrenzung der am stärksten magnetisierten Gesteinstypen. Obwohl sich im Vergleich mit petrophysikalischen Daten zeigte, dass die Suszeptibilität nicht direkt zur Identifizierung der verschiedenen Gesteinstypen nutzbar ist, waren die signifikantesten magnetischen Anomalien verbunden mit ferromagnetischen, Pyrrhotin-reichen Gneisen. Nach den neuesten 3D-Modellierungen ergab sich, dass das Einfallen der magnetischen Einheiten mit der Tiefe geringer wird.

Qualität: 3 Quantität: 3

Gravimetrie:

Gravimetrische Daten der Landesaufnahme wurden zusammen mit magnetischen und Fernerkundungsdaten bei der Auswahl eines geeigneten Standortes genutzt. Hauptsächlich dienten die Daten zur lithologischen Gliederung, d.h. zur Abgrenzung verschiedener Gesteinstypen und damit als Hilfsmittel für die geologische Kartierung.

McEWEN & ÄIKÄS (2000)

Qualität: 2 Quantität: 2

Bewertung nur unsicher möglich (Annahme üblicher Umfänge), da die Berichte zu den Messungen nicht vorliegen.

Geoelektrik / Elektromagnetik:

Aero-geophysikalische Messungen 1988:

- 100 m Profilabstand (NS) und alle geraden km Tie-Lines (EW)
- zusätzliche eine Messung im Zentralteil der Insel mit 100 m Profilabstand WNW-ESE
- elektromagnetische Dipol-Messungen (888, 7.837 und 51.250 Hz)
- VLF-Messungen
- der Messpunktabstand variiert zwischen 3 und 25 m

Oberflächengeophysik 1989:

- elektromagnetische Slingram-Messungen (1.760, 14.080 Hz)
- Messung auf N-S-Profilen, Profilabstand: 50 m, Punktabstand: 5 bis 10 m

POSIVA (2003)

Georadar (GPR):

1988: Messung auf Straßen mit einer 80-MHz-Antenne (ca. 10 bis 15 km)

2001: in einem Feuchtgebiet mit 150-MHz-Antenne

2002: im Untersuchungsschurf TK3, mit 40- und 200-MHz-Antenne

POSIVA (2003)

Ziel der GPR-Messungen war es, Aussagen über die Mächtigkeit der Lockergesteins-bedeckung sowie über die Qualität der Festgesteinsoberfläche zu gewinnen.

McEWEN (2000)

Mise-a-la-masse 1995, 2003:

- Stromeinspeisung in Bohrlöcher, Potentialmessungen in Bohrungen und an der Oberfläche
- 3 Untersuchungsflächen: 1 Fläche ca. 0,5 km², 2 Flächen je ca. 200 x 500 m; Profilabstand: 50 m

POSIVA (2003)

Widerstandssondierungen 1990, 2003:

- 1990: Halb-Schlumberger, 250 m Abstand, ca. 20 WS
- 2003: Pol-Pol-Sondierungsprofile (s.u., HEIKKINEN et al.)

POSIVA (2003)

EM-Sondierungen 1990 und 1994:

- Größe der Sendespule 20 bis 50 m; Empfänger außerhalb der Sendespule; Lage des Sondierungspunktes in der Mitte zwischen Sender und Empfänger
- Profilabstand 200 bis 1.000 m; Sondierungsabstand 50 bis 250 m

POSIVA (2003)

Elektromagnetische (EM) Sondierungen mit der Apparatur Geofinex 400S,

Frequenzbereich: 81 Frequenzen im Bereich von 1 bis 20.000 Hz werden verwendet

Messungen mit 200 m, 500 m und 800 m Abstand zwischen Sender und Empfänger

Messungen auf einem Profil von 3.400 m Länge, insgesamt 187 Sondierungen:

- 200 m Spulenabstand: Anordnung in-line (71 Sond.) und senkrecht (73 Sond.) zum Profil, Sondierungsabstand: 50 m
- 500 m Spulenabstand: Anordnung senkrecht zum Profil (33 Sond.), Sondierungsabstand: 100 m
- 800 m Spulenabstand: Anordnung senkrecht zum Profil (10 Sond.), Sondierungsabstand: 200 m

Die Datenqualität war meist ausreichend für die Interpretation, jedoch kam es zu gestörten Daten in der Nähe von Stromleitungen, jedoch auch bei Wechseln in der Geologie mit starken Leitfähigkeitsunterschieden.

- Widerstandssondierungen mit Pol-Pol-Anordnung (Auswahl wegen der größten Eindringtiefe)
- Messung auf 3 Profilen (1 E-W, 2 N-S) mit insgesamt 95 Sondierungen
- maximaler Abstand der Potenzial- von der Stromelektrode: 500 m, Messung an 14 Positionen
- neben dem Widerstand wurde auch die Aufladefähigkeit (induzierte Polarisation) gemessen
- Darstellung der Ergebnisse als Pseudosektionen

Die Kombination aus Widerstands- und EM-Sondierungen erwies sich für eine Erkundung des Tiefenbereiches von 0 bis 500 m als sinnvoll. Sollte nur eine Methode angewandt werden, dann ist EM in der geologischen Situation zu bevorzugen, jedoch muss dann der oberflächennahe Bereich mit geringeren Spulenabständen erkundet werden. Aufgrund der starken lateralen Materialwechsel wäre ein geringerer Sondierungsabstand sinnvoll gewesen.

Die interpretierten Ergebnisse sind vernünftig und korrelieren gut mit dem bisherigen Kenntnisstand. Es ist in jedem Fall sinnvoll, die vorhandenen Kenntnisse in die Interpretation einzubeziehen.

Die Ergebnisse lieferten Aussagen über die Klassifizierung der Gesteine sowie über vorhandene Störungen. Mineralisiertes Grundwasser konnte kartiert und klassifiziert werden.

HEIKKINEN et al. (2004)

Die EM-Sondierungen wurden auch genutzt, um Informationen über Sulfid-Mineralie und mögliche Deformationszonen in Sulfid-reichen Gebieten zu gewinnen.

ANDERSSON et al. (2007)

Qualität: 3 Quantität: 3

Radiometrie:

Aero-geophysikalische Messungen 1988:

- 100 m Profilabstand (NS) und alle geraden km Tie-Lines (EW)
- zusätzliche eine Messung im Zentralteil der Insel mit 100 m Profilabstand WNW-ESE
- der Messpunktabstand variiert zwischen 3 und 25 m
- Radiometrische Messungen: Totalintensität sowie Kalium, Uranium und Thorium

Qualität: 3 Quantität: 3

A1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Die geophysikalischen Bohrlochmessungen waren zum einen auf die Erkundung kleinskaliger Variationen und zum anderen auf die Bewertung großer Grundgebirgseinheiten ausgerichtet. Sie sollten Störungen und den Wechsel von lithologischen Einheiten erfassen.

Das Standardprogramm umfasste:

- Widerstandsmessungen (lange Normale, kurze Normale, Wenner-Anordnung, ein-Punkt-Elektrode)
- Eigenpotenzial
- Gamma-Gamma-Dichtemessung
- natürliche Gammastrahlung
- Neutron-Neutron-Messungen zur Bestimmung von Mineralogie und Porosität
- magnetische Suszeptibilität
- seismische p-Wellen-Geschwindigkeit
- Kalibermessung

Der Grad der Zerrüttung des Gesteins wurde außerdem mit bildgebenden Verfahren untersucht (z.B. Bohrloch-TV, Neigungsmesser und akustischer Televiwer). Partiiell wurden auch Bohrlochradar sowie seismische VSP-Messungen eingesetzt.

McEWEN (2000)

Qualität: 3 Quantität: 3

A1.4 Geol. Kartierung

A1.5 Bohrungen

A1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A1.7 Feldmessungen - Geochemie

A1.8 Feldmessungen - Geomechanik

A1.9 Labor

A1.10 Untertage Geophysik

A1.11 Untertage geol. Kartierung

A1.12 Untertage Bohrungen

A1.13 Untertage In-situ-Messungen

A1.14 Untertage Labor

A2 Stratigraphie**A2.1 Fernerkundung****A2.2 Geophysik (übertägig)****A2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A2.4 Geol. Kartierung****A2.5 Bohrungen****A2.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A2.7 Feldmessungen - Geochemie****A2.8 Feldmessungen - Geomechanik****A2.9 Labor****A2.10 Untertage Geophysik****A2.11 Untertage geol. Kartierung****A2.12 Untertage Bohrungen****A2.13 Untertage In-situ-Messungen****A2.14 Untertage Labor****A3 Strukturgeologie und Tektonik****A3.1 Fernerkundung**

Für die Erkundung von Lineamenten wurden Satellitenbilder und Luftbildaufnahmen herangezogen.

McEWEN (2000), POSIVA (2003)

Qualität: 2 Quantität: 2

A3.2 Geophysik (übertägig)

Die neuesten Lineament-Interpretationen kombinieren systematische topografische Aufnahmen und geophysikalische Daten.

ANDERSSON et al. (2007)

Seismik:

Auf 6 Linien, südlich und nördlich der Insel Olkiluoto, wurden mit Hilfe der HSP-Methode (horizontal seismic profiling) leicht geneigte Grenzflächen als seismische Reflektoren kartiert. Die seismischen Signale wurden am Seeboden mit hochempfindlichen Geophonen für den Gebrauch unter Wasser aufgezeichnet. Die Linien sind an der Wasseroberfläche mit Bojen markiert. Die seismischen Wellen wurden in flachen, mit Wasser gefüllten Bohrlöchern durch Sprengladungen (30 bis 250 g) angeregt. Auf jeder Linie gibt es 3 im Festgestein angelegte Anregungspunkte. Ziele dieser Messungen sind die Identifikation im Küstenbereich unter dem Meersboden liegender, leicht geneigter Kluftzonen sowie die Verbesserung der für den unmittelbaren Küstenbereich vorhandenen Datenbasis durch die Erkennung reflektierender Strukturen und ihre räumliche Abgrenzung.

McEWEN (2000)

Die Ergebnisse der umfangreichen refraktionsseismischen Messungen (s. A1.2) lieferten Informationen über die P-Wellen-Geschwindigkeitsverteilung und somit über Störungszonen im Grundgebirge.

POSIVA (2005)

Qualität: 2 Quantität: 2

Gravimetrie:

Gravimetrische Daten der Landesaufnahme wurden zusammen mit magnetischen und Fernerkundungsdaten bei der Auswahl eines geeigneten Standortes genutzt. Die gravimetrischen Daten dienen zur Beschreibung der großräumigen Störungsmuster und Bruchzonen.

McEWEN & ÄIKÄS (2000)

Qualität: 2 Quantität: 2

Bewertung nur unsicher möglich (Annahme üblicher Umfänge), da die Berichte zu den Messungen nicht vorliegen.

A3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**A3.4 Geol. Kartierung****A3.5 Bohrungen****A3.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A3.7 Feldmessungen - Geochemie****A3.8 Feldmessungen - Geomechanik****A3.9 Labor****A3.10 Untertage Geophysik****A3.11 Untertage geol. Kartierung****A3.12 Untertage Bohrungen****A3.13 Untertage In-situ-Messungen****A3.14 Untertage Labor****A4 Regionales Spannungsfeld****A4.1 Fernerkundung****A4.2 Geophysik (übertägig)**

Ein mikroseismisches Monitoring-System wurde 2002 auf Olkiluoto installiert. Das Netzwerk besteht aus 8 Messstationen in der Nähe von ONKALO, welche mit Akzellerometern ausgerüstet sind, die Magnituden ab $ML = -2$ erfassen können. Um auch seismische Ereignisse außerhalb dieses Netzwerkes erfassen zu können, wurden 5 dieser Stationen zusätzlich mit Geophonen ausgerüstet. Jede der seismischen Stationen ist mit einem „Stand Alone Quake Seismometer (SAQS)“ ausgerüstet, welches automatisch die erfassten und bearbeiteten Daten über Internet an einen Server sendet.

Bei der Auswertung treten gewisse Unsicherheiten bei der Identifizierung der einzelnen Ereignisse auf, speziell ist eine Trennung der durch die Auffahrung bedingten Ereignisse von den Spannungsrisen im Gebirge vorzunehmen. Der exakten Bestimmung des Quellortes kommt für die seismologische Analyse eine besondere Bedeutung zu. Um die Genauigkeit zu verbessern, wird während der Auffahrung von ONKALO ständig das Geschwindigkeitsmodell überprüft und verbessert.

POSIVA (2005)

Auf Resultate und den derzeitigen Stand von Messkampagnen (2006, 2007 sowie bis 2012 geplant) bezüglich mikroseismischem und GPS-Networkmonitoring wird von MATTILA (2007) auf SAARI, SAARI & LAKIO, AHOLA et al. und RIIKONEN verwiesen. Diese Messkampagnen zur Aufzeichnung von Mikroerdbeben erreichen mittlerweile durch Installation von 12 Stationen regionalgeologischen Charakter. Sie diente vormals ausschließlich der Charakterisierung von ungestörten Gesteinen der ONKALO-Site, doch mittlerweile werden auch Explosionen aus dem Sprengvortrieb, auffahrungsinduzierte Events und Erschütterungen von regionalem Ausmaß aufgezeichnet. Das entsprechende Equipment ist ebenfalls im Posiva-WR-2007-53-Bericht beschrieben.

Qualität: 3 Quantität: 3

A4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A4.4 Geol. Kartierung

A4.5 Bohrungen

A4.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A4.7 Feldmessungen - Geochemie

A4.8 Feldmessungen - Geomechanik

A4.9 Labor

A4.10 Untertage Geophysik

A4.11 Untertage geol. Kartierung

A4.12 Untertage Bohrungen

A4.13 Untertage In-situ-Messungen

A4.14 Untertage Labor

A5 Temperatur und Wärmeleitfähigkeit

A5.1 Fernerkundung

A5.2 Geophysik (übertägig)

A5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A5.4 Geol. Kartierung

A5.5 Bohrungen

A5.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A5.7 Feldmessungen - Geochemie

A5.8 Feldmessungen - Geomechanik

A5.9 Labor

A5.10 Untertage Geophysik

A5.11 Untertage geol. Kartierung

A5.12 Untertage Bohrungen

A5.13 Untertage In-situ-Messungen

A5.14 Untertage Labor

A6 Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z. B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)

A6.1 Fernerkundung

A6.2 Geophysik (übertägig)

A6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A6.4 Geol. Kartierung

A6.5 Bohrungen

A6.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A6.7 Feldmessungen - Geochemie

A6.8 Feldmessungen - Geomechanik

A6.9 Labor

A6.10 Untertage Geophysik

A6.11 Untertage geol. Kartierung**A6.12 Untertage Bohrungen****A6.13 Untertage In-situ-Messungen****A6.14 Untertage Labor****A7 Rohstoffvorkommen****A7.1 Fernerkundung****A7.2 Geophysik (übertägig)****A7.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A7.4 Geol. Kartierung****A7.5 Bohrungen****A7.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A7.7 Feldmessungen - Geochemie****A7.8 Feldmessungen - Geomechanik****A7.9 Labor****A7.10 Untertage Geophysik****A7.11 Untertage geol. Kartierung****A7.12 Untertage Bohrungen****A7.13 Untertage In-situ-Messungen****A7.14 Untertage Labor*****B Eigenschaften des Wirtsgesteins und des Deckgebirges am Standort*****B1 Lithologie/Stratigraphie****B1.1 Fernerkundung****B1.2 Geophysik (übertägig)**

siehe auch A1.2

Die Ergebnisse der 3D-Darstellung der Gesteinseigenschaften, abgeleitet aus VSP-, magnetischen, elektromagnetischen und Mise-à-la-masse-Messungen, dienen sowohl der lithologischen als auch der strukturellen Modellierung von ONKALO und seiner Umgebung. Die geophysikalischen Interpretationen wurden speziell für die Untersuchung der Kontinuität und der Richtung verschiedener Strukturen genutzt.

Die Gesteinseigenschaften wurden mit Hilfe geophysikalischer Ergebnisse und/oder numerischer Modellierungen abgeschätzt, basierend auf den Eigenschaften der Gesteinskomponenten (d.h. intaktes Gestein, Störungen, Deformationszonen).

ANDERSSON et al. (2007)

Qualität: 3 Quantität: 2 - 3

Bewertung nur als Mittelwert für Geophysik möglich, Qualität 3 wegen der integrativen Interpretation aller vorhandenen Daten.

B1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

In allen neuen Bohrungen wurde mit den Standardverfahren der Bohrlochgeophysik gemessen (magnetische Suszeptibilität, Widerstand, Dichte, natürliche Gamma-Strahlung, seismische P-Wellen-Geschwindigkeit, Kaliber und Fluid-Logging). Zusätzlich wurden auch Bohrloch-Imaging-Tools eingesetzt.

ANDERSSON et al. (2007)

Aufzeichnung des vollständigen akustischen Wellenzuges (acoustic full waveform logging), kombiniert mit der Interpretation der Geschwindigkeit und Dämpfung der P- und S-Wellen sowie der Dämpfung von Stoneley-Wellen wurde in fast allen tiefen (KR1 - KR4, KR6 - KR20, KR22-KR29) und in zwei ONKALO Pilot-Bohrungen (PH01 und PH02) durchgeführt.

Dieses Verfahren liefert eine Beschreibung des Gebirges rund um das Bohrloch mit einem Radius von mehreren Dezimetern.

POSIVA (2005)

Qualität: 3 Quantität: 3

B1.4 Kartierung

In ersten grundlegenden geologischen Kartierungen in Aufschlüssen wurden vorwiegend Gesteinstypen und die strukturgeologische Situation beschrieben.

PAULAMÄKI (1989)

2004 geol. Kartierung im Konstruktionsbereich OL3 über dem geplanten Endlager, Fläche von 400 x 400 m, Kartenmaßstab 1 : 2.000.

ANDERSSON et al. (2007), TALIKKA (2005)

Qualität: 2 Quantität: 3

1995: Kartierung von zwei Schlick- oder Schlammbecken

ANDERSSON et al. (2007); (*Äikäs (1995) WR PATU-95-19 nicht auf Posiva-Internetseite*)

Von 1995 bis 2006 geologische Kartierung von 10 Schürfen mit einer Breite von 0,5 bis 5 m und einer Gesamtlänge von 3.500 m, freigelegt mit Pressluft und anschließender Hochdruckreinigung mit Wasser.

ANDERSSON et al. (2007); (*s. a. Datentabelle Onkalo*)

2005: geologische Kartierung während des Auffahrens des ONKALO-Schachtes; ANDERSSON et al. (2007); (*TALIKKA (2005) WR 2005-33 nicht auf Posiva-Internetseite*)

2004 und 2005: Aufschlusskartierung neuer Aufschlüsse im Ostteil der Insel Olkiluoto.

1993: geologische Kartierung im Bereich über dem VLJ-Endlager für schwach- und mittelradioaktiven Abfall im Westen der Insel Olkiluoto, ca. 2,5 km von den Untertageanlagen ONKALO entfernt.

ANDERSSON et al. (2007)

Qualität: 2 Quantität: 3

Quantität: Abschätzung der Stufe 3, da die Kartierung einheitlich, basierend auf bestehenden Karten durchgeführt und mit anderen Methoden und Messungen abgeglichen wurde, kann davon ausgegangen werden, dass die erarbeiteten Maßstäbe dem Quantitätsstand von 3 entsprechen.

B1.5 Bohrungen

B1.5.1 Tiefbohrungen

Working-Reports mit Beschreibung der Tiefbohrkampagnen nicht auf Posiva-Internetseiten

1989 bis 1990 wurden im späteren Untersuchungsgebiet 6 Tiefbohrungen abgeteuft, die für die spätere Standorterkundung verwendet wurden.

Von 1994 bis 2006 43 Tiefbohrungen (98 bis 1.050 m Tiefe), 40 davon geneigte Bohrungen, 3 senkrechte. Bis 2000 wurden die ersten 12 Tiefbohrungen mit einem Doppelkernbohrer gebohrt, die späteren mit einem triple tube barrel, was zu besseren Kernen führte. Der Kerngewinn lag zwischen 300 und 1.000 m. Insgesamt liegen ca. 17.000 m Kernmaterial vor.

ANDERSSON et al. (2007)

Qualität: 3 Quantität: 3

B1.5.2 Flachbohrungen

Von 1989 bis 1990 wurden im späteren Untersuchungsgebiet Flachbohrungen abgeteuft, die bei der Standorterkundung auch zur Ergänzung der Festgesteinskartierung verwendet wurden. 36 Bohrungen (10 bis 20 m) PP1 - PP36.

ANDERSSON et al. (2007)

2004 wurden flache Kern- und Schlagbohrungen abgeteuft. Dabei wurden Videoaufnahmen gemacht und Verrohrungen für Grundwassermessungen installiert.

ANDERSSON et al. (2007); (*WR 2004-37 mit weiteren Angaben nicht auf Posiva-Internetseite veröffentlicht*)

16 Flachbohrungen (13 bis 36 m) der 1970er Jahre mit Neuaufnahme in 1990 wurden im Untersuchungsgebiet mit berücksichtigt.

ANDERSSON et al. (2007)

Qualität: 2,5 (Kern und Schlagbohrungen) Quantität: 3

B1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B1.7 Feldmessungen - Geochemie

B1.8 Feldmessungen - Geomechanik

B1.9 Labor

B1.10 Untertage Geophysik

B1.11 Untertage geol. Kartierung

Erste Phase der geologischen Kartierung der Tunnelwände und der Decke sowie des Stoßes seit 2004 direkt nach dem Auffahren in Intervallen von 5 m, Tunnellänge bis Ende 2005: 990 m (aktuell 1.684 m).

ANDERSSON et al. (2007)

Qualität: 1 Quantität: 2

Zweite Phase ab 2005 - detaillierte systematische Kartierung nach den Konstruktionsarbeiten ca. 100 bis 200 m hinter dem Stoß.

ANDERSSON et al. (2007)

Qualität: 2 Quantität: 2

B1.12 Untertage Bohrungen

5 Erkundungsbohrungen (96 bis 202 m) wurden in der Zentrallinie des Erkundungstunnels abgeteuft. Die Gesamtlänge der Bohrungen beträgt 725 m. Ergänzend wurden 7 flachere Bohrungen (15,2 bis 45,8 m) direkt über dem Erkundungstunnel gebohrt.

ANDERSSON et al. (2007); (*s. Datentabelle Onkalo, detaillierte Beschreibungen der technischen Ausstattung findet sich in der, in der Tabelle angegebenen Literatur*)

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.13 Untertage In-situ-Messungen**B1.14 Untertage Labor****B2 Geometrie****B2.1 Fernerkundung****B2.2 Geophysik (übertägig)****B2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B2.4 Kartierung**

Bei allen aufgeführten Kartierungen wurden auch Daten zur Ausdehnung von verschiedenen Einheiten ermittelt.

2004: geologische Kartierung im Konstruktionsbereich OL3 über dem geplanten Endlager, Fläche von 400 x 400 m, Kartenmaßstab 1 : 2.000.

ANDERSSON et al. (2007), TALIKKA (2005)

Qualität: 2 Quantität: 3

Erste grundlegende geologische Kartierungen in Aufschlüssen dokumentierten die Gesteinstypen und strukturgeologische Situation; detaillierte strukturgeologische Untersuchungen hatten zum Ziel, duktile Deformationen in der Region Olkiluoto zu beschreiben.

PAULAMÄKI (1989), PAULAMÄKI & KOISTINEN (1991)

1995: Kartierung von zwei Schlick- oder Schlammbecken.

ANDERSSON et al. (2007), *(Äikäs (1995) WR PATU-95-19 nicht auf Posiva-Internetseite)*

Von 1995 bis 2006 geologische Kartierung von 10 Schürfen mit einer Breite von 0,5 bis 5 m und einer Gesamtlänge von 3.500 m, freigelegt mit Pressluft und anschließender Hochdruckreinigung mit Wasser.

ANDERSSON et al. (2007); (s. a. *Datentabelle Onkalo*)

2005: geologische Kartierung während des Auffahrens des ONKALO-Schachtes.

ANDERSSON et al. (2007); (TALIKKA (2005) *WR 2005-33 nicht auf Posiva-Internetseite*)

2004 und 2005: Aufschlusskartierung neuer Aufschlüsse im Ostteil der Insel Olkiluoto

1993: geologische Kartierung im Bereich über dem VLJ-Endlager für schwach- und mittelradioaktiven Abfall im Westen der Insel Olkiluoto, ca. 2,5 km von den Untertageanlagen ONKALO entfernt.

ANDERSSON et al. (2007)

Qualität: 2 Quantität: 3

Quantität: Abschätzung der Stufe 3, da die Kartierung einheitlich, basierend auf bestehenden Karten durchgeführt wurde und mit anderen Methoden und Messungen abgeglichen wurde, kann davon ausgegangen werden, dass die erarbeiteten Maßstäbe dem Quantitätsstand von 3 entsprechen.

B2.5 Bohrungen**B2.5.1 Tiefbohrungen**

Working-Reports mit Beschreibung der Tiefbohrkampagnen nicht auf Posiva-Internetseiten

1989 bis 1990 wurden im späteren Untersuchungsgebiet 6 Tiefbohrungen abgeteuft, die für die weitere Standorterkundung verwendet wurden.

1994 bis 2006 43 Tiefbohrungen (98 bis 1.050 m Tiefe), 40 davon geneigte Bohrungen 3 senkrechte. Bis 2000 wurden die ersten 12 Tiefbohrungen mit einem Doppelkernbohrer gebohrt, die späteren mit einem triple tube barrel, was zu besseren Kernen führte. Der Kerngewinn lag zwischen 300 und 1.000 m. Insgesamt liegen ca. 17.000 m Kernmaterial vor.

ANDERSSON et al. (2007)

Qualität: 3 Quantität: 3

B2.5.2 Flachbohrungen

Von 1989 bis 1990 wurden im späteren Untersuchungsgebiet Flachbohrungen abgeteuft, die bei der Standorterkundung auch zur Ergänzung der Festgesteinskartierung verwendet wurden. 36 Bohrungen (10 bis 20 m) PP1 - PP36.

ANDERSSON et al. (2007)

2004 wurden flache Kern- und Schlagbohrungen abgeteuft. Dabei wurden Videoaufnahmen gemacht und Verrohrungen für Grundwassermessungen installiert.

ANDERSSON et al. (2007); (*WR 2004-37 mit weiteren Angaben nicht auf Posiva-Internetseite veröffentlicht*)

16 Flachbohrungen (13 bis 36 m) der 1970er Jahre mit Neuaufnahme in 1990 wurden im Untersuchungsgebiet mit berücksichtigt.

ANDERSSON et al. (2007)

Qualität: 2,5 (Kern und Schlagbohrungen) Quantität: 3

B2.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B2.7 Feldmessungen - Geochemie****B2.8 Feldmessungen - Geomechanik****B2.9 Labor****B2.10 Untertage Geophysik****B2.11 Untertage geol. Kartierung**

Erste Phase der geol. Kartierung der Tunnelwände und der Decke sowie des Stoßes seit 2004 direkt nach dem Auffahren in Intervallen von 5 m, Tunnellänge bis Ende 2005: 990 m.

ANDERSSON et al. (2007)

Qualität: 1 Quantität: 2

Zweite Phase ab 2005 - detaillierte systematische Kartierung nach den Konstruktionsarbeiten ca. 100 bis 200 m hinter dem Stoß.

ANDERSSON et al. (2007)

Qualität: 2 Quantität: 2

B2.12 Untertage Bohrungen

5 Erkundungsbohrungen (96 bis 202 m) wurden in der Zentrallinie des Erkundungstunnels abgeteuft. Die Gesamtlänge der Bohrungen beträgt 725 m. Ergänzend wurden 7 Flachbohrungen (15,2 bis 45,8 m) direkt über dem Erkundungstunnel gebohrt.

ANDERSSON et al. (2007); (*s. a. Datentabelle Onkalo, detaillierte Beschreibungen der technischen Ausstattung findet sich in der, in der Tabelle angegebenen Literatur*)

Qualität: 3 Quantität: 2

B2.13 Untertage in situ-Messungen**B2.14 Untertage Labor**

B3 Makro-Struktur

B3.1 Fernerkundung

B3.2 Geophysik (übertägig)

Die Ergebnisse der 3D-Darstellung der Gesteinseigenschaften, abgeleitet aus VSP-, magnetischen, elektromagnetischen und Mise-à-la-masse-Messungen, dienen sowohl der lithologischen als auch der strukturellen Modellierung von ONKALO und seiner Umgebung. Die geophysikalischen Interpretationen wurden speziell für die Untersuchung der Kontinuität und der Richtung verschiedener Strukturen genutzt.

Einige geophysikalische Ergebnisse flossen in kein geologisches Modell ein, da keine geologischen Daten zum Abgleich vorhanden waren. 2006 wurde jedoch begonnen, ein „elektrisches Modell“ zu erstellen, in das alle elektrischen und elektromagnetischen Daten und Modelle (elektrische Sondierungen, Slingram, Mise-à-la-masse, Gefinex 400S, Widerstandsmessungen im Bohrloch) einfließen. Ergebnisse liegen noch nicht vor.

ANDERSSON et al. (2007)

Seismik:

Die Ergebnisse der umfangreichen refraktionsseismischen Messungen (s. A1.2) lieferten Informationen über die P-Wellen-Geschwindigkeitsverteilung und somit über Störungszonen im Grundgebirge.

POSIVA (2005)

Die 3D-seismischen Messungen wurden im Juni 2006 auf einer Fläche von 600 x 650 m westlich von ONKALO als Pilot-Studie durchgeführt. Auf dieser Fläche wurden insgesamt 270 Geophone entlang auf 9 NW-SE-verlaufenden Linien in einem Abstand von 24 m ausgelegt (30 Geophone pro Linie). Die insgesamt 469 Anregungspunkte befinden sich auf 7 NE-SW, senkrecht zu den Geophonlinien, verlaufenden Linien (71 Anregungspunkte pro Linie mit einem Abstand von jeweils 10 m). Die Geophonlinien haben untereinander einen Abstand von 60 m, die Anregungspunktlinien einen Abstand von 100 m. Als Quelle wurde ein hydraulischer VIBRIST-Hammer (2.000 bis 2.500 J/Schlag) verwendet. Die Aufzeichnung erfolgte mit der Messapparatur SERCEL 408 UL und 28 Hz-Geophonen. Überdeckungsgrad und Signalqualität sind als gut zu bezeichnen. Im Vergleich zu einer konventionellen 3D-Seismik, war die Messfläche klein. Die feste Auslage führte bei der Bin-Größe von 12 x 12 m zu stark variablen Überdeckungsgraden (5...> 100), mit den geringen Überdeckungsgraden am Rande der Messfläche.

Der Test zeigt, dass die 3D-Seismik für die Erkundung von Störungen einsetzbar ist. Nach den ersten Auswertungen können Störungen mit flachem Einfallen und Versätzen erkannt werden, jedoch wurden keine Störungen mit mehr als 40° Einfallen erfasst. Teilweise setzen Reflexionen aus, ohne dass z.Z. entschieden werden kann, ob das auf die Geologie, eine geringere Datenqualität oder auf die gewählte geometrische Anordnung zurückzuführen ist. Es wurde bisher noch keine umfassende Interpretation durchgeführt.

Für zukünftige Messungen werden bei der großen Erkundungstiefe größere Messflächen mit veränderten geometrischen Parametern empfohlen. Hier ist ein Optimum zwischen Datenqualität und Kosten zu finden.

JUHLIN & COSMA (2007)

Qualität: 2 Quantität: 2

Qualität 2 und Quantität 2, weil Testfläche zu klein war.

Geoelektrik / Elektromagnetik:

Ziel der Messungen war eine Aufnahme der elektrisch leitfähigen Zonen, ihre Korrelation von Bohrloch zu Bohrloch und zu den Messgebieten an der Oberfläche. Diese Zonen sind häufig mit Schwächezonen und lithologischen Charakteristika verbunden. Die Messungen erfolgten im Herbst/Winter 2004/2005 in 6 Teilgebieten an der Oberfläche und in 21 Bohrlöchern. Die Messungen an der Oberfläche wurden zu einem großen Teil durch die Infrastruktur auf Olkiluoto gestört, so dass die Ergebnisse vor allem auf den Messungen in den Bohrlöchern basieren. Mit den Messungen war es möglich, zahlreiche flach einfallende elektrisch leitfähige Strukturen zu detektieren. Die Ergebnisse wurden für die weitere Modellierung verwendet und in ein GIS eingetragen.

LEHTONEN (2006)

Qualität: 1 - 2 Quantität: 2 - 3

Reduzierte Qualität, da die Oberflächenmessungen zu stark gestört waren.

B3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

siehe auch A1.3

Die in den einzelnen Bohrungen gewonnenen Daten umfassen seismische (P- und S-Wellengeschwindigkeit, Dämpfung von P- und Rohrwellen), radiometrische (Gamma-Gamma, Neutron-Neutron), elektrische (lange Normale, kurze Normale/Wenner), magnetische und Kaliber-Daten. Zusätzlich wurden hydraulische und thermische Daten genutzt, um hydraulisch wirksame Störungen zu lokalisieren bzw. die Verteilung der hydraulischen Leitfähigkeit zu bestimmen.

Die magnetischen Daten wurden vor allem zur Lokalisierung ferromagnetischer, Pyrrhotin-reicher Zonen herangezogen.

ANDERSSON et al. (2007)

Die unter B3.2 aufgeführten refraktionsseismischen Messungen wurden ergänzt durch 3D VSP-Verfahren in Bohrlöchern sowie durch walkaway VSP in vier Bohrungen im Gebiet von ONKALO. Die Ergebnisse der Untersuchungen beschreiben sowohl nahezu horizontal als auch nahezu vertikal einfallenden Störungen.

Zusätzlich wurden zwischen den Bohrungen KR14 und KR15 crosshole und tomografische Untersuchungen durchgeführt, deren Ergebnisse deutlich die Kontinuität und die Eigenschaften der flach einfallenden Schwächezonen zeigen.

Die Orientierungsrichtung der erfassten Strukturen erfolgte auf der Basis von Bohrlochradar und VSP-Messungen oder aus der Bestimmung der mittleren Kluftrichtung an Kernen bzw. über Bohrloch-TV, unter der Annahme, dass die Richtung der einzelnen Kluft der Richtung der gesamten Kluftzone entspricht. Die Nutzung des Bohrlochradars war in einigen Fällen eingeschränkt auf Grund der physikalischen Rahmenbedingungen (mineralisiertes Grundwasser, leitfähige Minerale) sowie der teilweise ungünstigen Winkel zwischen Bohrloch und gesuchter Struktur.

POSIVA (2005)

Qualität: 3 Quantität: 3

B3.4 Kartierung

Von 1995 bis 2006 Erfassung von spröden und duktilen Deformationen an der Festgesteinsoberfläche an 10 Schürfen.

ANDERSSON et al. (2007)

Qualität: 2 Quantität: 3

Quantität: Abschätzung der Stufe 3, da die Kartierung einheitlich, basierend auf bestehenden Karten durchgeführt wurde und mit anderen Methoden und Messungen abgeglichen wurde, kann davon ausgegangen werden, dass die erarbeiteten Maßstäbe dem Quantitätsstand von 3 entsprechen.

Insgesamt wurden 14.321 tektonische Messungen an natürlichen Aufschlüssen und Schürfen vorgenommen. 2.827 Messungen von duktilen Deformationen mit Foliation, Faltenachsen, Faltenachsenflächen, Störungsflächen und Lineationen; 11.494 Messungen von Bruchstrukturen.

ANDERSSON et al. (2007)

1994 Kartierung der Störungen mit 1.700 Messungen im Bereich über dem VLJ-Endlager für schwach- und mittelfestradioaktiven Abfall im Westen der Insel Olkiluoto ca. 2,5 km von den Untertageanlagen ONKALO entfernt.

POSIVA (2005) (*weitere Angaben in SACKLEN 1994 auf finnisch*)

Qualität: 2 Quantität: 3

B3.5 Bohrungen

Untersuchung der orientierten Bohrkerne in 1-m-Intervallen mit 1.700 Messungen, z.B. von Störungsflächen, zur Datenerhebung für tektonische Modelle der Falten- und Bruchstrukturen. Einstufung der Deformationen in 5 Stufen (1. starke plastische Scherung, 2. schwache plastische Scherung, 3. bruchhafte Störungszonen mittleren Grades, 4. Klüfte, 5. Störungszonen).

Das Gefüge der Bohrkerne wurde zur Bewertung des geologischen Hintergrundes untersucht.

ANDERSSON et al. (2007)

Qualität: 3 Quantität: 3

B3.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B3.7 Feldmessungen - Geochemie****B3.8 Feldmessungen - Geomechanik****B3.9 Labor****B3.10 Untertage Geophysik****B3.11 Untertage geol. Kartierung**

In der ersten Phase (2004 bis 2005) Hauptklüfte mit Längen über 1 m, Aufnahme von Einfallen und Einfallsrichtung, Kluftbeschaffenheit und Alteration.

Phase 2 (ab 2005) Aufnahme aller natürlicher Bruchstrukturen; Klüfte mit Beschaffenheit, Alterationen, Füllungen und deren Mächtigkeit, Öffnungen, Enden, Form, wie z.B. Wellen, Gesteinsart, Wassereintritt; Foliation mit Orientierung, Typisierung und Intensität; Falten mit Achsen, Achsenflächen, Lineationen und Störungen; Störungen mit Orientierung, Bewegungsrichtung.

Kartierung von Zonen erhöhter Anzahl von Bruchstrukturen und/oder das Vorhandensein von Harnischen, Kartierung der tektonischen Strukturen im Erkundungstunnel entsprechend der 5 Stufengliederung, die für die Kerne verwendet wurde (B3.6).

1994 Kartierung der Störungen im Untersuchungstunnel des VLJ-Endlagers für schwach- und mittel-radioaktiven Abfall im Westen der Insel Olkiluoto ca. 2,5 km von den Untertageanlagen ONKALO entfernt.

ANDERSSON et al. (2007)

Qualität: 3 Quantität: 1

B3.12 Untertage Bohrungen**B3.13 Untertage In-situ-Messungen****B3.14 Untertage Labor****B4 Mikro-Struktur****B4.1 Fernerkundung****B4.2 Geophysik (übertägig)****B4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B4.4 Geol. Kartierung****B4.5 Bohrungen****B4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B4.7 Feldmessungen - Geochemie****B4.8 Feldmessungen - Geomechanik****B4.9 Labor**

B4.10 Untertage Geophysik**B4.11 Untertage geol. Kartierung**

Aufnahme des Korngefüges während der geol. Kartierung des Tunnels von 2004 bis 2005.

ANDERSSON et al. (2007)

Qualität: 1 Quantität: 2

B4.12 Untertage Bohrungen**B4.13 Untertage In-situ-Messungen****B4.14 Untertage Labor****B5 In-situ-Spannungsverhältnisse****B5.1 Fernerkundung****B5.2 Geophysik (übertägig)****B5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

Erste Untersuchungen bezüglich der In-situ-Spannungsverhältnisse in Gesteinen der Olkiluoto-Region wurden bereits 1989 in tiefreichenden Bohrlöchern durchgeführt. Ein damals neu eingesetztes Charakterisierungstool ist das „multi directional vertical seismic profiling“, welches sehr gute Ergebnisse lieferte, wobei einzelne Effekte mit dem regionalen Spannungsfeld korreliert waren.

s. Diskussion in LEHTONEN (2005)

Qualität: ? Quantität: ?

B5.4 Geol. Kartierung**B5.5 Bohrungen**

Die Kenntnis des primären Spannungsfeldes sowie dessen Änderung durch die Auffahrung der untertägigen Hohlräume stellt eine wichtige Eingangsgröße für das gesteinsmechanische Modell dar. Weil die regionalen Spannungsverhältnisse zu komplex sind, wurden erste Untersuchungen bezüglich der In-situ-Spannungsverhältnisse in Gesteinen der Olkiluoto-Region bereits 1989 in tiefreichenden Bohrlöchern durchgeführt. Im Laufe der weiteren Entwicklung der ONKALO-Site wurden Spannungsmessungen (Hydrofrac: KR1, KR2, KR4 und KR10 sowie „Overcoring“: KR10 und KR24) in Bohrlöchern im Teufenintervall zwischen 300 und 800 m durchgeführt (s. Verweise in POSIVA, 2005, Chapter 5.4.1).

Auf Basis der vorliegenden Messungen wurden Gleichungen zur Berechnung der teufenabhängigen Variation der Hauptspannungskomponenten abgeleitet, wobei die Ergebnisse der zwei hauptsächlich eingesetzten Verfahren als sehr konsistent bewertet werden.

POSIVA, (2005)

Qualität: 3 Quantität: 2

B5.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B5.7 Feldmessungen - Geochemie****B5.8 Feldmessungen - Geomechanik****B5.9 Labor**

Aus der 514 m langen Bohrung OL-KR14, welche 05-06/2001 abgeteuft wurde, wurden orientierte Kerne genommen, aus denen Prüfkörper hergestellt wurden, die für die Ermittlung von Spannungsverhältnissen dienen sollten. Dabei wurde der sog. Kaiser-Effekt der akustischen Emission ausgenutzt, um In-situ-Spannungsverhältnisse abzuschätzen (LEHTONEN, 2005). Allerdings weist der Autor auch darauf hin, dass es sich von der Methodik her um eine recht unsichere Vorgehensweise mit eher unbefriedigenden Ergebnissen handelt. Mit den anhand von 20 x 40-mm-Prüfkörpern in einer MTS 815-Prüfmaschine erzielten Resultaten zeigte man sich allerdings zufrieden, wobei das Verfahren hinsichtlich seiner Relevanz umstritten ist.

Qualität: 1 Quantität: 1

Anmerkung: Spezialuntersuchung, deren Ergebnisse hinsichtlich ihrer Relevanz kritisch zu bewerten sind.

B5.10 Untertage Geophysik

B5.11 Untertage geol. Kartierung

B5.12 Untertage Bohrungen

B5.13 Untertage In-situ-Messungen

Messung des Spannungsreduktions-Faktors während der Tunnelkartierung.

ANDERSSON et al. (2007)

Qualität: 1 Quantität: 1

Anmerkung: Die quantitative Bewertung der Messergebnisse hinsichtlich ihrer Relevanz für die geomechanische Modellierung ist unklar.

B5.14 Untertage Labor

B6 Mineralogie

B6.1 Fernerkundung

B6.2 Geophysik (übertägig)

B6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B6.4 Geol. Kartierung

B6.5 Bohrungen

B6.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B6.7 Feldmessungen - Geochemie

B6.8 Feldmessungen - Geomechanik

B6.9 Labor

B6.10 Untertage Geophysik

B6.11 Untertage geol. Kartierung

B6.12 Untertage Bohrungen

B6.13 Untertage In-situ-Messungen

B6.14 Untertage Labor

B7 Petrophysikalische Eigenschaften

B7a Gesteinsmechanik

Info:

Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung des Olkiluoto Site Description 2006 (2007) Berichtes lagen die meisten untertägigen geomechanischen Messungen nur aus der Tunnelkartierung vor. Das eigentliche geomechanische Messprogramm im Untergrund (ONKALO) wird mit steigender Anzahl von Erkundungsbohrungen vom Tunnel aus gestartet und ausgebaut. Es kann daher in dieser Zusammenstellung nicht berücksichtigt werden.

B7a.1 Fernerkundung

B7a.2 Geophysik (übertägig)

B7a.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Die Bewertung der elastischen Eigenschaften des Gesteins erfolgt auch auf der Basis geophysikalischer Ergebnisse. Dazu werden die P- und S-Wellengeschwindigkeit sowie die Gesteinsdichte verwendet. Neben den verschiedenen Gesteinsarten und der variierenden Klüftigkeit können auch dynamische Parameter (Elastizitätsmodul, Schermodul, Poisson-Verhältnis) abgeschätzt werden.

POSIVA (2005)

Qualität: 2 Quantität: 2

B7a.4 Geol. Kartierung**B7a.5 Bohrungen****B7a.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7a.7 Feldmessungen - Geochemie****B7a.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7a.9 Labor**

2006 wurden an 45 Proben (31 alterierte sowie 14 unalterierte Referenzproben) „point load tests“ gemacht, um den Zusammenhang zwischen Alteration und Druckfestigkeiten zu untersuchen. 26 Proben stammten dabei aus der Bohrung OL-KR1 (Teufenbereich 357 bis 889 m) und 19 Proben aus der Bohrung OL-KR12 aus einem Teufenbereich von 313 bis 761 m (NIINIMÄKI & AALTONEN, 2006). Entsprechend den Empfehlungen des ISRM (1981, 1985) wurden diese Versuche vorbereitet und durchgeführt. Mittlere Festigkeiten von 85 MPa (25 bis 143 MPa) wurden für Proben der KR1 ermittelt; Proben der Bohrung KR12 weisen eine mittlere Festigkeit von 107 MPa auf (41 bis 194 MPa). Als Resultat wird darauf hingewiesen, dass es keine Korrelation zwischen den Testergebnissen und (dem Grad) der Alteration gibt. Differenzen innerhalb der Messwerte werden auf unterschiedlich ausgeprägte Foliation zurückgeführt.

Qualität: 2 Quantität: 2

Anmerkung: Bei den durchgeführten Untersuchungen handelt es sich um Standardversuche, die als Basisparameter für gesteinsmechanische Berechnungen verwendet werden, aber noch durch Spezialuntersuchungen zu ergänzen sind.

B7a.10 Untertage Geophysik**B7a.11 Untertage geol. Kartierung**

Im Zuge der Tunnelkartierung wurden Daten und geomechanisch auffällige Bereiche aufgenommen.

ANDERSSON et al. (2007)

Qualität: 1 Quantität: 2

Anmerkung: Ingenieurgeologische Standardprozedur, wobei zur Interpretation der Ergebnisse jeweils gesteinsmechanische Modellierungen durchgeführt werden müssen.

B7a.12 Untertage Bohrungen**B7a.13 Untertage in situ-Messungen**

In den 5 Erkundungsbohrungen wurden geomechanische Messungen (Bend Test) durchgeführt.

z.B. ÖHBERG et al. (2005) WR 2005-63, ANDERSSON et al. (2007)

Qualität: 1 Quantität: 2

B7a.14 Untertage Labor**B7b Hydraulisch (z. B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)**

B7b.1 Fernerkundung

B7b.2 Geophysik (übertägig)

B7b.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7b.4 Geol. Kartierung

B7b.5 Bohrungen

B7b.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7b.7 Feldmessungen - Geochemie

B7b.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7b.9 Labor

B7b.10 Untertage Geophysik

B7b.11 Untertage geol. Kartierung

B7b.12 Untertage Bohrungen

B7b.13 Untertage In-situ-Messungen

B7b.14 Untertage Labor

B7c Diffusion

B7c.1 Fernerkundung

B7c.2 Geophysik (übertägig)

B7c.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7c.4 Geol. Kartierung

B7c.5 Bohrungen

B7c.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7c.7 Feldmessungen - Geochemie

B7c.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7c.9 Labor

B7c.10 Untertage Geophysik

B7c.11 Untertage geol. Kartierung

B7c.12 Untertage Bohrungen

B7c.13 Untertage In-situ-Messungen

B7c.14 Untertage Labor

B7d Thermisch

B7d.1 Fernerkundung

B7d.2 Geophysik (übertägig)

B7d.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7d.4 Geol. Kartierung

B7d.5 Bohrungen

B7d.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7d.7 Feldmessungen - Geochemie

B7d.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7d.9 Labor

B7d.10 Untertage Geophysik**B7d.11 Untertage geol. Kartierung****B7d.12 Untertage Bohrungen****B7d.13 Untertage In-situ-Messungen****B7d.14 Untertage Labor****B7e THMC-Kopplung**

Es wurde eine Arbeitsgruppe eingerichtet, die die Verknüpfung der unterschiedlichen Fachbereiche im Onkalo-Untersuchungsprogramm in Zukunft sichern soll.

ANDERSSON et al. (2007)

B7e.1 Fernerkundung**B7e.2 Geophysik (übertägig)****B7e.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7e.4 Geol. Kartierung****B7e.5 Bohrungen****B7e.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7e.7 Feldmessungen - Geochemie****B7e.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7e.9 Labor****B7e.10 Untertage Geophysik****B7e.11 Untertage geol. Kartierung****B7e.12 Untertage Bohrungen****B7e.13 Untertage In-situ-Messungen****B7e.14 Untertage Labor****B7f Chemische Eigenschaften (z. B. Oxidation, Adsorption)****B7f.1 Fernerkundung****B7f.2 Geophysik (übertägig)****B7f.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7f.4 Geol. Kartierung****B7f.5 Bohrungen****B7f.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7f.7 Feldmessungen - Geochemie****B7f.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7f.9 Labor****B7f.10 Untertage Geophysik****B7f.11 Untertage geol. Kartierung****B7f.12 Untertage Bohrungen****B7f.13 Untertage In-situ-Messungen****B7f.14 Untertage Labor**

C Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)**C1 Hydraulisch wirksame Einheiten****C1.1 Fernerkundung****C1.2 Geophysik (übertägig)**

Bei der Modellierung von hydrogeologischen Zonen wurden die Ergebnisse der Mise-à-la-masse-Messungen einbezogen.

ANDERSSON et al. (2007)

Qualität: 1 - 2

Quantität: 2

Reduzierte Qualität, da Messungen teilweise durch anthropogene Einflüsse gestört sind.

C1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**C1.4 Geol. Kartierung**

Oberflächenabfluss an 4 Messstellen

ANDERSSON et al. (2007)

Qualität: 2

Quantität: 3

Quantität: Abschätzung der Stufe 3, da die Methode den Kartierungen gleichgestellt wurde, die einheitlich, basierend auf bestehenden Karten durchgeführt und mit anderen Methoden und Messungen abgeglichen wurden. Deshalb wird auch in diesem Punkt davon ausgegangen, dass die Messungen auf Grundlage entsprechender Maßstäbe dem Quantitätsstand von 3 entsprechen.

20 Lysimeter zur Bestimmung der Sickerwassermenge im Deckgebirge.

ANDERSSON et al. (2007)

Qualität: 2

Quantität: 3

Quantität: Abschätzung der Stufe 3, da die Methode den Kartierungen gleichgestellt wurde, die einheitlich, basierend auf bestehenden Karten durchgeführt und mit anderen Methoden und Messungen abgeglichen wurden. Deshalb wird auch in diesem Punkt davon ausgegangen, dass die Messungen auf Grundlage entsprechender Maßstäbe dem Quantitätsstand von 3 entsprechen.

C1.5 Bohrungen

Mit Stand 2006 gibt es 69 Standorte im Flachbohrbereich, die für Grundwassermonitoring angelegt wurden. Dies sind sowohl Multi-Level-Piezometer, flache Bohrungen als auch verrohrte Messstellen. Dabei wurden vorwiegend Grundwasserstände und deren Änderungen im Jahresverlauf aufgezeichnet; sowohl für Grundwasser im Deckgebirge als auch im Wirtsgestein. Zusätzlich wurden Fließparameter und elektrische Leitfähigkeit in situ bestimmt.

KLOCKARS et al. (2007)

Qualität: 3

Quantität: 3

C1.6 Feldmessungen - Geohydraulik**C1.7 Feldmessungen - Geochemie****C1.8 Feldmessungen - Geomechanik****C1.9 Labor****C1.10 Untertage Geophysik****C1.11 Untertage geol. Kartierung**

Während der Tunnelkartierung Phase 2 wurden Wassereintrittstellen an Klüften und Verwitterungen sowie Wassereintrittstellen an Störungen aufgenommen. Seit Sommer 2005 werden im Tunnel die neuen Wassereintrittstellen jeden zweiten Monat kartiert, einmal im Jahr wird der Gesamttunnel kartiert, um Veränderungen zu dokumentieren. An kartierten Wassereintrittstellen im Tunnel wurden Proben genommen, wenn der Zufluss ausreichte; (ANDERSSON et al., 2007). Diese Wasseraustritte und

Tropfstellen wurden seit Auffahrung von ONKALO registriert und 6 von ihnen intensiv per Monitoring überwacht. Die Lokationen aller dieser Stellen wurden kartiert und in Kategorien (trocken bis fließend) eingeordnet. Fließraten, elektrische Leitfähigkeit und pH-Wert wurden dokumentiert (PITKÄNEN et al., 2007).

Qualität: 3 Quantität: 2

C1.12 Untertage Bohrungen

C1.13 Untertage In-situ-Messungen

Soweit möglich, werden an Wassereintrittstellen die Ausflussmengen gemessen.

ANDERSSON et al. (2007)

Qualität: 2 Quantität: 3

C1.14 Untertage Labor

C2 Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein

C2.1 Fernerkundung

C2.2 Geophysik (übertägig)

C2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

C2.4 Geol. Kartierung

C2.5 Bohrungen

C2.6 Feldmessungen Geohydraulik

Multipackersysteme zur automatischen Messung der Standrohrspiegelhöhen in 59 Flachbohrungen seit 2004; bis 2005 auch in 14 Tiefbohrungen (Langzeitüberwachung des Grundwasserspiegels. Bohrungszu- und Abflüsse, die an bestimmte Einheiten oder Bruchstrukturen gebunden sind wurden mit und ohne Pumpen zur Bestimmung von Transmissivität und Porenwasserdruck gemessen.

ANDERSSON et al. (2007)

Qualität: 3 Quantität: 2

C2.7 Feldmessungen - Geochemie

C2.8 Feldmessungen - Geomechanik

C2.9 Labor

C2.10 Untertage Geophysik

C2.11 Untertage geol. Kartierung

C2.12 Untertage Bohrungen

C2.13 Untertage In-situ-Messungen

C2.14 Untertage Labor

C3 Fließ- und Speicherparameter

C3.1 Fernerkundung

C3.2 Geophysik (übertägig)

C3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

C3.4 Geol. Kartierung

C3.5 Bohrungen

C3.6 Feldmessungen Geohydraulik

Messung des Durchlässigkeitsbeiwertes bis 2004 (28 Bohrungen) mit HTU (Hydraulic Testing Unit) und DIFF (Difference flow meter (*Technik ist detailliert beschrieben in: ÖHBERG & ROUHIAINEN (2000)*)). Ab 2004 wurde für alle neuen Bohrungen systematisch das DIFF verwendet, HTU wurde hauptsächlich in Tiefenbereichen des geplanten Endlagers (bis 300 m; *keine Angabe ob NN oder unter GOK*) eingesetzt.

Bohrungszu- und -abflüsse, die an bestimmte Einheiten oder Bruchstrukturen gebunden sind, wurden mit und ohne Pumpen zur Bestimmung der Transmissivität und des Porenwasserdrucks gemessen.

ANDERSSON et al. (2007)

Qualität: 3 Quantität: 2

2002 wurden 24 Slug-Tests an 9 Flachbohrungen und 15 Grundwassermessstellen durchgeführt. Die Slug-Tests wurden seit 2003 jeden Sommer an 10 bis 20 Messpunkten zur Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeit in 21 Flachbohrungen mit 2-m-Filterstrecken im Deckgebirge (ca. 10 bis 25 m unter der Festgesteinsoberfläche) und Grundwassermessstellen durchgeführt. Messgerät durch Doppelpacker in 1-m-Teststrecken eingefasst.

ANDERSSON et al. (2007), HELLÄ & HEIKKINEN (2004) WR 2004-13

Diese Messkampagnen wurden bis 2006 durchgeführt und auf Korrelationen analysiert. Einige der ursprünglich vorhandenen Messstellen existieren allerdings nicht mehr und lassen sich somit nicht mehr aktuell überwachen und vergleichen.

KLOCKARS et al. (2007)

Qualität: 3 Quantität: 3

In allen Tiefbohrungen wurde die Transmissivität mit der Posiva Flow Log-Methode bestimmt.

ANDERSSON et al. (2007)

Qualität: 2 Quantität: 2

Großpumpversuche und cross-hole tests:

Großpumpversuche an 11 Tiefbohrungen, die z.T. mehrfach verwendet wurden.

Cross hole-Tests wurden aufgrund technischer Probleme aufgegeben und daher nicht dokumentiert.

ANDERSSON et al. (2007)

Qualität: 3 Quantität: 2

Grundwasserabstrom-Messungen an Tiefbohrungen:

Grundwasserabstrom-Messungen an GWM-Gruppen von 8 Tiefbohrungen mit transversen Flowmetern (Weiterentwicklung des Posiva Flow Log für Störungszonen).

ANDERSSON et al. (2007)

Qualität: 3 Quantität: 2

C3.7 Feldmessungen - Geochemie

C3.8 Feldmessungen - Geomechanik

C3.9 Labor

C3.10 Untertage Geophysik

C3.11 Untertage geol. Kartierung

C3.12 Untertage Bohrungen

C3.13 Untertage In-situ-Messungen

Durchflussmessungen an den 5 Erkundungsbohrungen im Tunnel mit dem Posiva Flow Log (Beginn 2004).

ANDERSSON et al. (2007)

Qualität: 3 Quantität: ?

Druckaufbaumessungen an 2 der Erkundungsbohrungen, Injektionstests an Versickerungsstellen in 2 Bohrungen (water loss test, Lugeon-Test).

ANDERSSON et al. (2007)

Qualität: 2 Quantität: 1

Messwehr zur Zuflussmessung am Streckenpunkt 580

ANDERSSON et al. (2007)

Qualität: 2 Quantität: 1

C3.14 Untertage Labor

C4 Zwei-Phasenflussparameter

C4.1 Fernerkundung

C4.2 Geophysik (übertägig)

C4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

C4.4 Geol. Kartierung

C4.5 Bohrungen

C4.6 Feldmessungen - Geohydraulik

C4.7 Feldmessungen - Geochemie

C4.8 Feldmessungen - Geomechanik

C4.9 Labor

C4.10 Untertage Geophysik

C4.11 Untertage geol. Kartierung

C4.12 Untertage Bohrungen

C4.13 Untertage In-situ-Messungen

C4.14 Untertage Labor

D Hydrochemie

Info:

Grundwasserbeprobung zweimal im Jahr (Frühjahr und Herbst) in Flach- und Tiefbohrungen sowie Grundwassermessstellen; Niederschlagswasser, Oberflächengewässer, Meerwasser werden ebenso regelmäßig beprobt.

D1 Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)

D1.1 Fernerkundung

D1.2 Geophysik (übertägig)

D1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

D1.4 Geol. Kartierung

D1.5 Bohrungen

D1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

D1.7 Feldmessungen - Geochemie

D1.8 Feldmessungen - Geomechanik

D1.9 Labor

Tracer wurde verwendet, um die Kontamination mit Spülungswasser der tiefen Proben zu bewerten.

Beprobung und Analyse des Grundwassers bis 1998:

- 5 Proben von flachen Piezometern im Deckgebirge (PVP)
- 4 Proben von flachen Bohrlöchern im Festgestein (PR)
- 48 Proben von tiefen Bohrlöchern (KR)

Analyse	PVP	PR	KR
^3H	5	4	43
^{14}C und $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	4	4	37
$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ und $^2\text{H}/^1\text{H}$	5	4	43

PITKÄNEN et al. (1999)

Beprobung und Analyse des Grundwassers von 1998 bis 2005:

- 51 Proben von flachen Bohrlöchern im Festgestein (PR & PP)
- 71 Proben von tiefen Bohrlöchern (KR)

Analyse	PVP	PR/PP	KR
^3H		5	19
^{14}C und $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$		4	16
$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ und $^2\text{H}/^1\text{H}$		4	16

PITKÄNEN et al. (2004)

Proben von Bohrlöchern in 2006 während des Baus von ONKALO:

Analyse	PVP	PR/PP	KR
^3H	10	8	
^{14}C und $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	9	7	
$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ und $^2\text{H}/^1\text{H}$	14	11	9

Pitkänen et al. (2007)

^3H :	Qualität: 3	Quantität: 2
^{14}C und $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$:	Qualität: 3	Quantität: 2
$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ und $^2\text{H}/^1\text{H}$:	Qualität: 3	Quantität: 2

D1.10 Untertage Geophysik**D1.11 Untertage geol. Kartierung****D1.12 Untertage Bohrungen****D1.13 Untertage In-situ-Messungen****D1.14 Untertage Labor****D2 Porenwasserchemismus****D2.1 Fernerkundung**

D2.2 Geophysik (übertägig)

Durch gleichstromgeoelektrische Widerstandssondierungen mit einer halbseitigen SCHLUMBERGER-Konfiguration sowie elektromagnetischen Frequenz-Sondierungen mit einer Dipolquelle wurde die Verbreitung salinen Grundwassers kartiert. Insgesamt wurden 42 Messungen an 21 Messpunkten durchgeführt. Für die elektromagnetischen Messungen, die einen großen Frequenzbereich abdeckten, kam die Messapparatur GEFINEX 400 S SAMPO zum Einsatz.

McEWEN (2000)

Geophysikalische Messungen können Hinweise auf verschiedene Leitfähigkeitsverhältnisse des Grundwassers liefern (sowohl im Bohrloch als auch für größere Gesteinsvolumen mit Hilfe der Elektromagnetik); andere Eigenschaften des Grundwassers sind mit der Geophysik nicht bestimmbar.

POSIVA (2003)

Seit 2004 wurden jährlich elektromagnetische Sondierungen (mit GEFINEX 400 S) an festgelegten Standorten im ONKALO-Gebiet gemessen, um Veränderungen in der Leitfähigkeit und damit im Niveau des Salzwasserspiegels zu erfassen. Es wurden keine Veränderungen festgestellt.

ANDERSSON et al. (2007)

Qualität: 2 Quantität: 2

D2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Die Messung der elektrischen Leitfähigkeit des Wassers im Bohrloch und der aus den Klüften zutretenden Wässer wird für die Bewertung der Salinität verwendet. Der Vergleich der elektrischen mit hydrochemischen Ergebnissen zeigt eine gute Korrelation, so dass damit auch die Zuverlässigkeit der hydrochemischen Daten verbessert werden kann.

POSIVA (2005)

Qualität: 2 Quantität: 3

D2.4 Geol. Kartierung**D2.5 Bohrungen****D2.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D2.7 Feldmessungen Geochemie**

Profile der elektrischen Leitfähigkeit wurden zusammen mit Temperatur und Flussrate in allen Bohrungen mit dem DIFF-Werkzeug (Difference Flow Meter) bestimmt. Das HTU-Werkzeug (hydraulic testing unit), das eine niedrige Bestimmungsgrenze hat, wurde ebenfalls eingesetzt.

ANDERSSON et al. (2007)

Elektrischen Leitfähigkeit, Eh, gelöster Sauerstoff, Temperatur sowie pH im Wasser von gepumpten Intervallen wurden in einer Durchflussszelle an der Oberfläche gemessen.

POSIVA (2003)

Daten bis 1998:

Bestimmung	PVP	PR	KR
Eh			27
gelöster Sauerstoff		4	47
elektrische Leitfähigkeit	5	4	48
pH	5	4	48

PITKÄNEN et al. (1999)

Daten von 1998 bis 2004:

Bestimmung	PVP	PP/PR	KR
Eh			19
gelöster Sauerstoff			19
elektrische Leitfähigkeit	11	8	35
pH	11	8	35

PITKÄNEN et al. (2004)

Daten (tägliche Werte) zur Bestimmung der Änderungen in Perioden während des Baus von ONKALO von 11/06 bis 01/07 gemessen:

Bestimmung	PVP	PP/PR	KR
Eh			24
gelöster Sauerstoff			24
elektrische Leitfähigkeit			24
pH			24

PITKÄNEN et al. (2007)

Eh und gelöster Sauerstoff:	Qualität: 3	Quantität: 2
Elektrische Leitfähigkeit:	Qualität: 3	Quantität: 3
pH:	Qualität: 3	Quantität: 3

D2.8 Feldmessungen - Geomechanik

D2.9 Labor

Es wurde Tracer verwendet, um die Kontamination mit Spülungswasser der tiefen Proben zu bewerten. Proben zur Bestimmung gelöster Gase wurden unter Druck mit dem PAVE-System genommen.

POSIVA (2003)

Beprobung und Analyse des Grundwassers bis 1998:

- 5 Proben von flachen Piezometern im Deckgebirge (PVP)
- 4 Proben von flachen Bohrlöchern im Festgestein (PR)
- 48 Proben von tiefen Bohrlöchern (KR)

Analyse	PVP	PR	KR
Ca, Mg, Na, K, HCO ₃ , SO ₄ , Cl	5	4	48
Fe ²⁺ & Fe _{total}	5	4	48
gelöster organischer Kohlenstoff	5	4	40
HS ⁻		4	48
gelöste Gase			6
Radon	5	4	38
U-Isotopenverhältnis	2	2	39

PITKÄNEN et al. (1999)

Beprobung und Analyse des Grundwassers vom 1998 bis 2005:

- 51 Proben von flachen Bohrlöchern im Festgestein (PR & PP)
- 71 Proben von tiefen Bohrlöchern (KR)

Analyse	PVP	PP/PR	KR
Ca, Mg, Na, K, HCO ₃ , SO ₄ , Cl	11	8	35
Fe ²⁺ & Fe _{total}			33
gelöster organischer Kohlenstoff	22	16	36
HS ⁻		8	33
gelöste Gase			15
Radon		8	13
U-Isotopenverhältnis		4	13

PITKÄNEN et al. (2004)

Proben von Bohrlöchern im 2006 während des Baus ONKALO:

Analyse	PVP	PP/PR	KR
elektrische Leitfähigkeit & pH (im Labor)			25
Ca, Mg, Na, K, HCO ₃ , SO ₄ , Cl	15	11	25
Fe ²⁺ & Fe _{total}	15	11	25
gelöster organischer Kohlenstoff	15	11	23
HS ⁻	15	11	25
gelöste Gase			22
Radon			
U-Isotopenverhältnis			

PITKÄNEN et al. (2007)

10 Proben wurden zur Mikrobenanalyse von den PVP- und PP-Bohrungen genommen.

PEDERSEN (2006)

Alkalinität:	Qualität: 3	Quantität: 2
redoxempfindliche Substanzen:	Qualität: 3	Quantität: 3
gelöste Hauptsubstanzen:	Qualität: 3	Quantität: 2
Spurenelemente:	Qualität: 3	Quantität: 2
Mikroben:	Qualität: 3	Quantität: 1
gelöste Gase:	Qualität: 3	Quantität: 1
U-Isotopenverhältnis und Radon:	Qualität: 3	Quantität: 3

D2.10 Untertage Geophysik

D2.11 Untertage Kartierung

Aufnahme des Reduktionsgrades der Kluftwässer bei der Tunnelkartierung.

ANDERSSON et al. (2007)

Qualität: 1 Quantität: 2

D2.12 Untertage Bohrungen

D2.13 Untertage In-situ-Messungen

D2.14 Untertage Labor

D3 Transporteigenschaften

D3.1 Fernerkundung

D3.2 Geophysik (übertägig)

D3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

D3.4 Geol. Kartierung

D3.5 Bohrungen

D3.6 Feldmessungen - Geohydraulik

D3.7 Feldmessungen - Geochemie

D3.8 Feldmessungen - Geomechanik

D3.9 Labor

D3.10 Untertage Geophysik

D3.11 Untertage geol. Kartierung

D3.12 Untertage Bohrungen

D3.13 Untertage In-situ-Messungen

D3.14 Untertage Labor

D4 Kolloide usw.

D4.1 Fernerkundung

D4.2 Geophysik (übertägig)

D4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

D4.4 Geol. Kartierung

D4.5 Bohrungen

Bis 2005 wurde eine Tiefbohrung in einer Tiefe von 613 bis 618 m für Kolloidanalysen beprobt.

POSIVA (2005)

D4.6 Feldmessungen - Geohydraulik

D4.7 Feldmessungen - Geochemie

D4.8 Feldmessungen - Geomechanik

D4.9 Labor

D4.10 Untertage Geophysik

D4.11 Untertage geol. Kartierung**D4.12 Untertage Bohrungen****D4.13 Untertage In-situ-Messungen****D4.14 Untertage Labor**

Von einer Stelle (ONK-PVA1) wurde Grundwasser für Kolloidenanalysen beprobt.

TAKALA & MANNINEN (2006)

ZITATE

(Folgende Zitate können von der Posiva-Webseite heruntergeladen werden.)

ANDERSSON, J., AHOKAS, H., HUDSON, J.A., KOSKINEN, L., LUUKKONEN, A., LÖFMAN, J., KETO, V., PITKÄNEN, P., MATTILA, J., IKONEN, A.T.K. & YLÄ-MELLA, M. (2007): Olkiluoto Site Description 2006. Posiva Oy, Report POSIVA 2007-03.

HEIKKINEN, E., AHOKAS, T. & SAKSA, P. (2004): Interpretation of Olkiluoto Electromagnetic Gefinex 400S Soundings and Pole-pole Electrical Soundings. POSIVA 2004-16.

HELLÄ, P. & HEIKKINEN, P. (2004): Slug Tests in Shallow Holes at Olkiluoto 2002. Working Report 2004-13. Posiva Oy, Helsinki.

JUHLIN, CH. & COSMA, C. (2007): A 3D Surface Seismic Pilot Study at Olkiluoto, Finland: Acquisition and Processing Report, Posiva WR 2007-65.

KLOCKARS, J., Tammisto, E. & Ahokas, H. (2007): Results of Monitoring at Olkiluoto in 2006. Hydrology. Working report 2007-50. Posiva Oy, Helsinki.

LEHTONEN, A. (2005): Evaluation of Rock Stress, Estimation by the Kaiser Effect. Working Report 2005-67. Posiva Oy, Helsinki.

LEHTONEN, T. (2006): Visualization and Interpretation of the Year 2004 Mise-a-la-Masse Survey Data at Olkiluoto Site, Posiva WR 2006-08.

MATTILA, J. (2007): Results of Monitoring at Olkiluoto in 2006 – Rock Mechanics. Working Report 2007-53. Posiva Oy, Helsinki.

McEWEN, T. & ÄIKÄS, T. (2000): The site selection process for a spent fuel repository in Finland - Summary report, POSIVA 2000-15.

NIINIMÄKI, R. & AALTONEN, I. (2006): Rock Mechanical Tests of the Deep Drillholes OL-KR1 and OL-KR12 at Olkiluoto 2006. Working Report 2006-106, Posiva Oy, Helsinki

ÖHBERG, A., AALTONEN, I., KEMPPAINEN, K., MATTILA, J., HEIKKINEN, E., LAHTI, M., PUSSINEN, V., PAASO, N. & ROUHIAINEN, P. (2005): Drilling and the associated borehole measurements of the pilot hole ONK-PH2. Eurajoki, Posiva Oy. Working Report 2005-63.

ÖHBERG, A. & ROUHIAINEN, P. (2000): Posiva groundwater flow measuring techniques . Helsinki, Finland, Posiva Oy. Posiva Report POSIVA 2000-12.

PAULAMÄKI, S. (1989): Geological bedrock and joint mapping of the Olkiluoto study site, Eurajoki, western Finland (in Finnish with an English abstract). TVO/Site investigations, Work Report 89-25. Teollisuuden Voima Oy, Helsinki. 63 p.

PAULAMÄKI, S. & KOISTINEN, T. J. (1991): Interpretation of the geological structures of the Olkiluoto area, Eurajoki, western Finland (in Finnish with an English abstract). TVO/Site investigations, Work Report 91-62. Teollisuuden Voima Oy, Helsinki. 34 p.

PEDERSEN, K. (2006): Microbiology of transitional groundwater of the porous overburden and underlying fractured bedrock aquifers in Olkiluoto 2004, Finland. Working Report 2006-09, Posiva Oy, Helsinki.

PITKÄNEN, P., LUUKKONEN, A., RUOTSALAINEN, P., LEINO-FORSMAN, H. & VUORINEN, U. (1999): Geochemical modelling of groundwater evolution and residence time at the Olkiluoto site. Report POSIVA 98-10, Posiva Oy, Helsinki.

- PITKÄNEN. P., PARTAMIES, S. & LUUKKONEN, A. (2004): Hydrogeochemical interpretation of baseline groundwater conditions at the Olkiluoto site. Report POSIVA 2003-07, Posiva Oy, Helsinki.
- PITKÄNEN. P., AHOKAS, H., YLÄ-MELLA, M., PARTAMIES, S., SNELLMAN, M. & HELLÄ, P. (ED) (2007): Quality review of hydrochemical baseline data from the Olkiluoto site. Report POSIVA 2007-05, Posiva Oy, Helsinki.
- PITKÄNEN. P., PARTAMIES, S., LAHDENPERÄ, A.-M., LEHTINEN, A., AHOKAS, H., HIRVONEN, H. & HATANPÄÄ, E. (2007): Results of Monitoring at Olkiluoto in 2006, Hydrogeochemistry, Working Report 2007-51, Posiva Oy, Helsinki.
- POSIVA (2003): Baseline Conditions at Olkiluoto (Posiva 2003), Posiva Report POSIVA 2003-02.
- POSIVA (2005): Olkiluoto Site Description 2004. Posiva Oy, Report POSIVA 2005-03.
- TAKALA, M. & MANNINEN, P. (2006): Sampling and characterisation of groundwater colloids at ONKALO, Olkiluoto, Finland. Working Report 2006-98, Posiva Oy, Helsinki.
- TALIKKA, M. (2005): Geological mapping of the Olkiluoto 3 construction site. Posiva Oy, Working report 2005-32, 33 p.

ONKALO		Erkundungs- methoden: 1-9 übertägig 10-14 untertägig	Fernerkundung	Geophysik (übertägig)	Geophysik (im Bohrloch)	Geol. Kartierung	Bohrungen	Feldmessungen - Geohydraulik	Feldmessungen - Geochemie	Feldmessungen - Geomechanik	Labor	Geophysik	geologische Kartierung	Bohrungen	In-situ- Messungen	Labor
Inhalte der Themenkomplexe		Bezeichnungen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Regionale Geologie (20 km*20 km)																
Wirtsgestein / Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)	A1															
Stratigraphie	A2															
Strukturgeologie und Tektonik (Störungsmuster, Faltung)	A3															
Regionales Spannungsfeld	A4															
Temperatur und Wärmeleitfähigkeit	A5															
Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z.B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)	A6															
Rohstoffvorkommen	A7															
Eigenschaften des Wirtsgesteins und des Deckgebirges am Standort																
Lithologie	B1															
Geometrie (Tiefenlage, Ausdehnung)	B2															
Makro-Struktur (Großgefüge: Störungen / Faltungen / Deformationen / Klüfte)	B3															
Mikro-Struktur (Korngefüge / Porenstruktur)	B4															
In-situ-Spannungsverhältnisse	B5															
Mineralogie	B6															
Petrophysikalische Eigenschaften (Probenmaßstab):																
Gesteinsmechanik (z.B. Festigkeit, Kriechen)	B7a															
Hydraulik (z.B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)	B7b															
Diffusion	B7c															
Thermik	B7d															
THMC-Kopplung	B7e															
Chemismus (z.B. Oxidation, Adsorption)	B7f															
Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)																
Hydraulisch wirksame Einheiten	C1															
Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein	C2															
Fließ- und Speicherparameter	C3															
Zwei-Phasenfluss-Parameter	C4															
Hydrochemie																
Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)	D1															
Porenwasserchemismus	D2															
Transporteigenschaften	D3															
Kolloide usw.	D4															

Erkundungsaktivität

Erkundungsaktivität ohne eine Bewertung bzgl. der Qualitäts- bzw. Quantitätskategorien

Standort:	Oskarshamn (Schweden), Teilgebiet Laxemar
Name - Typ:	Oxhagen - potenzieller Standort für ein Endlager für HLW
Lage:	nordwestlich der Ortschaft Ström, ca. 10 km westlich vom Kernkraftwerk Oskarshamn, ca. 300 km südwestlich von Stockholm
Betreiber:	SKB
Fläche:	Die derzeit untersuchte Fläche des Teilgebietes Laxemar hat eine Größe von ca. 8 km ² . Detaillierte Untersuchungen liegen für ein 5,5 km ² großes Gebiet vor.
Erschließung/ Teufenlage:	Das Endlager ist in einer Tiefe von 300 bis 700 m geplant.
Geologie:	<p>Das Hauptaugenmerk wird auf den westlichen und südlichen Teil des Laxemargebietes gerichtet, wo vor allem Quarz-Monzodiorit als Gestein vorkommt, welches etwas bessere Eigenschaften hat, als der in den anderen Bereichen vorkommende Ävrö-Granit (porphyritische Gesteine mit einer Zusammensetzung, die zwischen Granit und Quarz-Monzodiorit variiert).</p> <p>Das Gelände ist relativ eben; das Festgestein steht in der Regel unter einer 2 bis 3 m mächtigen Bodenschicht an. Nur in den Tälern kann die Bodenmächtigkeit bis ca. 20 m betragen. Bis zu einer Tiefe von 200 bis 400 m ist das Gestein stark geklüftet und weist eine hohe hydraulische Leitfähigkeit auf. Diese nimmt jedoch mit zunehmender Tiefe stark ab, so dass sie in den tieferen Bereichen um den Faktor 10 geringer ist.</p>
Historie:	<p>Die Erkundungen im Gebiet Oskarshamn begannen 2002 und wurden schrittweise durchgeführt. Das ursprünglich ausgewählte Gebiet westlich des Kernkraftwerkes Oskarshamn hatte eine Größe von ca. 60 km² und konnte bald in die Teilgebiete Simpevarp und Laxemar untergliedert werden.</p> <p>Relativ schnell wurde klar, dass auf der Halbinsel Simpevarp ein Endlager errichtet werden könnte, jedoch war der dort vorhandene Platz zu begrenzt. 2004 wurde deshalb das Teilgebiet Laxemar für weiterführende Untersuchungen favorisiert; 2005 konnte der Bereich für einen zukünftigen Endlagerstandort auf den westlichen und südlichen Teil von Laxemar eingeeengt werden. Für den Standort der Übertage-Gebäude wurde die Region Oxhagen ausgewählt.</p> <p>Die Feldarbeiten für die Untersuchung dieses Gebietes sollen 2007 abgeschlossen werden, danach setzt die finale Bewertung und Analyse der gewonnenen Daten ein. Es wird erwartet, dass nicht vor 2009 entschieden wird, ob das ausgewählte Gebiet ausreichend sicher für eine Endlagerung ausgedienter Kernbrennstoffe ist.</p>

Oskarshamn, SchwedenINFO:

Das Untersuchungsgebiet Oskarshamn ist in die zwei Teilbereiche - Simpevarp und Laxemar - untergliedert, die nachfolgend gemeinsam betrachtet werden.

Insgesamt ist das Untersuchungsprogramm noch nicht abgeschlossen, so dass die nachfolgenden Angaben, insbesondere die Quantität betreffend, nur einen Zwischenstand wiedergeben.

A Regionale Geologie (20 km x 20 km)**A1 Wirtsgestein/Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)****A1.1 Fernerkundung****A1.2 Geophysik (übertägig)**

2002 (September bis Oktober) erfolgte eine *Helikoptererkundung* des Großraums Oskarshamn auf einer Fläche von ca. 13 x 7 km. Es wurden N-S-Fluglinien mit einem Linienabstand von 50 m und nomineller Flughöhe von 60 m (± 18 m) gemessen sowie E-W-Verbindungslinien (tielines) mit 500 m Abstand. Zur besseren Auflösung der geologischen Strukturen mit SW-NE-Streichen wurde ein Gebiet östlich des Kernkraftwerkes mit 36 Fluglinien senkrecht zur Küste mit einem Linienabstand von 100 m erkundet. Insgesamt wurden 2.039 km mit *Magnetik*, *Radiometrie*, *Multifrequenz-Elektromagnetik (EM)* und *Very-Low-Frequency-Elektromagnetik (VLF-EM)* gemessen (s.u. und A3.2). Hauptziel war der Gewinn von Informationen zur Grundgebirgsgeologie des Simpevarp-Gebietes. Für alle gemessenen Parameter wurden Karten der aufbereiteten und gefilterten Daten im Maßstab 1 : 20.000 sowie 1 : 10.000 (siehe Anhang C) erstellt.

RØNNING et al. (2003)

Aero-geophysikalische Daten (*Magnetik*, *EM*, *VLF*, *Gamma-Spektrometrie*) wurden zur Identifizierung lithologischer Grenzen verwandt.

SKB (2005a)

Magnetik:

Die Daten wurden im Zuge der *Helikoptererkundung* 2002 (siehe auch A3.2) gewonnen. Mobiles Scintrex CS-2 Cäsium Magnetometer mit 0,001 nT Auflösung in einer elektromagnetischen Sonde, 10 Messungen pro Sekunde mit Datenabstand von ca. 3 m. Basismagnetometer Scintrex MP-3 Protonenmagnetometer mit 0,1 nT Auflösung und Messung alle 3 Sekunden.

RØNNING et al. (2003)

Es sollten u.a. Volumina ausgewiesen werden, die hinsichtlich Gehalt und Verteilung magnetischer Minerale homogen sind, wobei vor allem die EULER-Dekonvolution zur Ermittlung von Tiefe und Lage von Kontakten zwischen unterschiedlichen homogenen Körpern angewendet wurde und möglichst viele petrophysikalische Informationen einfließen sollten. Es sind Informationen zu den magnetischen Eigenschaften des Untergrundes bis in Tiefen von einigen hundert m zu erwarten, welche hinsichtlich der Grundgebirgsgeologie interpretiert werden können.

Nach RØNNING et al. (2003) konnte eine sehr gute Datenqualität erreicht und Karten des magnetischen Totalfeldes im Maßstab 1 : 20.000 erstellt werden. Die Klassifizierung von Gesteinstypen gestaltete sich jedoch schwierig, da hinsichtlich des Grades an magnetischer Suszeptibilität Überlappungen zwischen den Gesteinseinheiten auftreten und diese oft ineinander vermischt sind. Die Kombination mit der petrophysikalischen Erkundung ist unerlässlich. Es konnten Einheiten von etwa gleicher magnetischer Suszeptibilität (niedrig, mittel, hoch, extra hoch) identifiziert und in einer Karte dargestellt werden. Niedrig magnetisierte Gesteinsabschnitte werden als tektonisch beansprucht interpretiert. Hoch oder extra hoch magnetisierte Gesteinsbereiche werden als Variationen der Gesteinszusammensetzung aufgrund gesteinsbildender Prozesse interpretiert. Ihre Verbreitung wird z.T. auf tektonische Prozesse zurückgeführt. Mittels quantitativer 2.5D-Modellierung konnten Aussagen zur Geometrie und dem Einfallen von u.a. Gesteinskörpern gemacht werden (siehe A3.2).

TRIUMF et al. (2003)

Qualität: 2 - 3

Quantität: 3

EM-Messungen:

Die Messungen erfolgten im Zuge der *Helikoptererkundung* 2002. Geotech Hummingbird mit 0,1 ppm Auflösung, 10 Messungen pro Sekunde, 5 Frequenzsonden (coplanar 880, 6606 and 34.133 Hz, coaxial 980 und 7.001 Hz). Abstand der 4 Spulen niedriger Frequenz 6 m, Abstand der 34.133 Hz-Spulen 4,2 m. Die Sonde hing an einem Kabel mit ca. 30 m Länge. (RØNNING et al. 2003).

Ziele (siehe auch A3.2) waren u.a. das Gewinnen von Informationen zu den elektrischen Eigenschaften der Bodenbedeckung und des Grundgebirges und Hinweise auf Vorkommen von leitfähigen Mineralen. EM-Anomalien werden für tonige und/oder dicke Bodenschichten erwartet. Nach RØNNING et al. (2003) wird die Datenqualität als gut eingeschätzt und es wurden Karten des EM-Widerstandes bei unterschiedlichen Frequenzen im Maßstab 1 : 20.000 erstellt. Es konnten Einheiten mit niedrigem Gebirgswiderstand, mit leitfähiger Bedeckung und mit relativ mächtiger Bodenbedeckung identifiziert werden. Die Beschaffenheit und Mächtigkeit der Bodenschicht wird als Verhältnis zwischen Mächtigkeit und Widerstand ermittelt. Hohe Leitfähigkeit ist ein Hinweis auf tonigen Boden oder Moore. Die Bodenmächtigkeit wird von der Inversion nur sehr schlecht bestimmt. Die Schwellenwerte für „mächtige“ Boden wurden bei der Inversion per Definition mit 2,5 m und 5 m festgelegt.

TRIUMF et al. (2003)

Qualität: 2 Quantität: 3

Qualität wurde trotz quantitativer Interpretation mit 2 bewertet, da keine guten Ergebnisse in Bezug auf die Mächtigkeit erzielt werden konnten.

Gamma-Spektrometrie:

Die Messungen, welche die Gammastrahlung der obersten dm des Untergrundes erfassen, wurden bei der *Helikoptererkundung* 2002 gewonnen. Es wurde ein Exploranium GR 820 mit thermisch stabilisiertem, nach unten gerichtetem 16 l Kristall und einem nach oben gerichteten 4 l Kristall verwendet. Spektrometer mit 256 Kanälen, Kanalweite von 12,5 keV und Energiefenster von 0,2 MeV bis 3,0 MeV. Kanal 255 (kosmisch) erfasst (Energien > 3 MeV). Eine Messung erfolgt alle 30 m (RØNNING et al. 2003). Gamma-Spektrometrie-Messungen am Boden sind nur in wenigen Lokationen durchgeführt worden. Nach RØNNING et al. (2003) konnte eine sehr gute Datenqualität erreicht werden; Karten im Maßstab 1 : 20.000 wurden für die Gesamtstrahlungsintensität, die U-, K- und Th-Zählrate und die RGB-Zusammensetzung erstellt. Die Interpretation erfolgte durch visuelle Inspektion der aufbereiteten Daten in einem GIS-Programm. Es konnten Informationen zur Verteilung von K-, U- und Th-Gehalten gewonnen werden, was Rückschlüsse auf die oberflächennahe Geologie liefert und die Klassifizierung 7 homogener Gesteinseinheiten ermöglichte. Angaben zur absoluten Strahlung können zur Klassifizierung der Quellen dienen. Es sind Rückschlüsse auf Mineralogie bzw. Gesteinsarten und deren Verteilung möglich (z.B. Gänge, quartäre Sedimente) z.T. in Kombination mit den magnetischen Eigenschaften der Gesteine und geologischen Karten. Ausnahmen bestehen in großen topographischen Vertiefungen oder Tälern und in Gebieten mit starker quartärer Bedeckung.

TRIUMF et al. (2003)

Qualität: 3 Quantität: 3

A1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**A1.4 Geol. Kartierung****A1.5 Bohrungen****A1.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A1.7 Feldmessungen - Geochemie****A1.8 Feldmessungen - Geomechanik****A1.9 Labor****A1.10 Untertage Geophysik****A1.11 Untertage geol. Kartierung****A1.12 Untertage Bohrungen****A1.13 Untertage In-situ-Messungen**

A1.14 Untertage Labor**A2 Stratigraphie****A2.1 Fernerkundung****A2.2 Geophysik (übertägig)****A2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A2.4 Geol. Kartierung****A2.5 Bohrungen****A2.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A2.7 Feldmessungen - Geochemie****A2.8 Feldmessungen - Geomechanik****A2.9 Labor****A2.10 Untertage Geophysik****A2.11 Untertage geol. Kartierung****A2.12 Untertage Bohrungen****A2.13 Untertage In-situ-Messungen****A2.14 Untertage Labor****A3 Strukturgeologie und Tektonik****A3.1 Fernerkundung**

2005 erfolgte eine Fernerkundungskampagne mit *Luftbildfotografie* und *Luft-Laserscanning* mit LIDAR-(Light Detection and Ranging) Technik auf einer Fläche von ca. 19 km² (S. 8). LIDAR-Aufnahmeparameter: Höhendaten mit tausenden Messpunkten pro Sekunde mit absoluter vertikaler Genauigkeit von bis zu 10 cm, Flughöhe ca. 900 m über Grund, Fluglinien N-S und E-W, Laserpuls-Frequenz 100.000 Hz, Scannerfrequenz 58 Hz, Half scanning angle 17, 1 sigma, Geschwindigkeit 75 m/s.

Luftbild-Aufnahmeparameter: Flughöhe ca. 1.000 m über Grund, Bildmaßstab ca. 1 : 6.700, E-W-Fluglinien mit Überlappung, Ausschnitt je Foto von 1.500 x 1.500 m, Kamerakonstante 0,153 m, Farbfilm, 47 Belichtungen.

Aus den Daten wurde ein digitales Mosaik von Luftbildern (Orthofotos) mit 10 cm Pixelgröße (0,1 m Auflösung) sowie ein hochaufgelöstes (0,25 m Auflösung), durchgängiges Geländemodell (LIDAR) erstellt. Es schloss sich eine visuelle Interpretation der Oberflächenbeschaffenheit und Topographie an.

NYBORG (2005)

Ziel der o.g. Kampagne war die Identifizierung und Analyse von Lineamenten, welche Hinweise auf mögliche Deformationszonen im Grundgebirge sein können, in hochaufgelösten topographischen Daten der Luftbild- und Laserscanning-Kampagne des Laxemar-Simpevar-Gebietes 2005 (s.o.) mit anschließender Kontrolle im Feld und Re-Evaluierung bereits früher identifizierter Lineamente aus digitalen Geländemodellen von 2002 und 2005, aus der Magnetikerkundung mit Helikopter 2002, detaillierter Bodengeophysik 2005 und elektromagnetischen (Multifrequenz-EM und VLF) Daten der Helikopter- (2002) und Starrflügel-Erkundung 1986 (schematische Vorgehensweise siehe S. 13.). Zunächst erfolgte eine visuelle Identifizierung, Beschreibung des Verlaufes und Charakterisierung von Lineamenten im Luftbild mit Hilfe von Bildanalyse und GIS-Techniken. Sofern die revidierten und neu erkundeten Lineamente über aufgeschlossenem Gestein verliefen, wurden sie auf 7 Kontrollflächen à 400 x 400 m des Laxemar-Gebietes im Feld charakterisiert.

Die Re-Evaluierung der mit anderen bzw. älteren Methoden identifizierten Lineamente mit den neuen Datensätzen und im Feld, führte zur Abänderung und Zusammenführung einiger der methodenspezifischen Lineamente, 123 komplett neue Lineamente konnten identifiziert und z.T. als untergeordnete,

lokale Strukturen kartiert und im Feld als geologische Strukturen verifiziert bzw. verworfen werden. Der Schwerpunkt lag dabei auf Detailinformationen und dem Erkennen kürzerer Lineamente < 1 km. Aufgrund des Zeitplans konnten nicht alle neuen Lineamente im Feld kontrolliert werden. Die Felderkundung zeigt, dass der Hauptteil der mit Geophysik und Fernerkundung identifizierten Lineamente direkt mit deformiertem Gestein assoziiert ist. Nichtaufgeschlossene Lineamente z.B. mit Bodenbedeckung oder ohne Talanschnitt wurden im Feld nicht charakterisiert. Die Feldkontrolle der revidierten Daten ergab, dass ca. 50% der aero-elektromagnetisch und ca. 65% der magnetisch identifizierten Lineamente mit Deformationen im Gestein assoziiert sind. Übersicht zu Lineamenttypen, Identifikationsmethoden und Verifizierung werden in einer Tabelle (S. 27) aufgeführt.

Die Häufigkeit, vor allem kürzerer identifizierter Lineamente für bestimmte Flächen hängt u.a. von der Auflösung der angewandten Erkundungsmethode sowie dem topographischen Relief und dem Anteil aufgeschlossenen Grundgebirges ab. Die Erfahrungen der Feldarbeiten zeigen, dass Bereiche mit niedriger magnetischer Suszeptibilität auftreten können, die nicht in einem sichtbaren Zusammenhang zum deformierten Gestein stehen und sicher durch Variationen im Magnetitgehalt verursacht werden. Trotzdem besteht die Vermutung, dass niedrige Suszeptibilitäten in vielen Lokationen ein Zeichen für sekundäre metamorphe oder hydrothermale Veränderungen im Gestein und indirekt für Rissbildung/Klüftung sind. Eine klärende Studie wird angeraten. Allgemein wird die Methode der Lineament-Interpretation gefolgt von einer Bewertung im Feld als geeignete Methode bewertet, um kleinere Deformationszonen zu lokalisieren und charakterisieren zu können, aber auch um solche Strukturen von anderen geologischen Merkmalen zu unterscheiden.

BERGLUND et al. (2006)

Qualität: ? Quantität: ?

A3.2 Geophysik (übertägig)

Magnetik:

2002 erfolgte eine *Helikoptererkundung* des Großraums Oskarshamn (ca. 13 x 7 km, siehe A1.2) bei der u.a. Messungen des *magnetischen Totalfeldes* erfolgten. Ziel waren u.a. die Identifizierung von Lineamenten. Die Interpretation erfolgte zunächst durch visuelle Inspektion der aufbereiteten Daten in einem GIS. Mit Hilfe quantitativer 2.5D-Modellierung wurden verschiedene Anomaliequellen modelliert. Diese wurden mit Daten entlang 3 gemessener Profile durchgeführt, wobei Tiefen bis 500 m betrachtet wurden und eine Eingrenzung durch Abgleich mit geologischen Karten stattfand. Die Ergebnisse zeigen, dass die vorhandenen Gesteine sehr gut für die magnetische Erkundung geeignet sind. Strukturen im Grundgebirge, die auf unterschiedliche tektonische Prozesse zurückgehen, zeichnen sich sehr gut als Anomalien (Minima) ab, da Unterschiede in der magnetischen Suszeptibilität zwischen unbeanspruchten und tektonisch beanspruchten Gesteinspartien bestehen. Mit Hilfe der magnetischen Erkundung können die tektonische Überprägung des Gebietes erkundet, Lineamente identifiziert und in einer Karte dargestellt werden. Es wird zwischen lokalen übergeordneten und lokalen untergeordneten Lineamenten unterschieden.

Das Ziel, ein Einfallen der stark magnetisierten Gesteine festzustellen, konnte erreicht werden. Das generelle Äquivalenz-Problem bei der Potenzialfeld-Modellierung (mehrere Quellen, selbes Ergebnis) hat hier keinen Einfluss auf das Einfallen der Anomalien.

TRIUMF et al. (2003)

Qualität: 3 Quantität: 3

Elektromagnetik

Ziele der *Helikopter-Multifrequenz-EM-Messungen* des Großraums Oskarshamn 2002 (ca. 13 x 7 km, siehe A1.2), deren Eindringtiefe im allgemeinen bei ca. 30 bis 200 m liegt, waren u.a. das Gewinnen von Informationen zum Wassergehalt in Boden, Gesteinsporen, Klüften und der Salinität des Porenwassers, wobei für wassergefüllte Klüfte und/oder Klüfte mit Tonmineralumwandlungen im Festgestein Anomalien erwartet werden. Da die hier vorhandenen Gesteine hohe elektrische Widerstände aufweisen, war nur eine schwache Reaktion auf die EM-Messung zu erwarten.

Es konnten Lineamente identifiziert werden, die als bodenbedeckte Klüfte oder Vertiefungen im Grundgestein interpretiert werden. Niedriger Widerstand von Gesteinskörpern kann als starke Klüftigkeit und/oder stark salinares Porenwasser interpretiert werden. Dieser Effekt kann jedoch beim Inversionsprozess durch eine darüber liegende, leitfähige Bodenschicht maskiert werden.

TRIUMF et al. (2003)

Es erfolgten außerdem *Very Low Frequency Electromagnetic* (VLF-EM)-Messungen. Zum einen im Zuge einer *Helikopterkampagne* 2002 (siehe A1.2), wobei für unterschiedliche Flüge unterschiedliche VLF-Transmitter verwendet wurden, die Bedeckung dennoch vollständig war (TRIUMF et al. 2003). Hertz Totem 2A, Totalfeld von 2 orthogonalen Stationen, Aufnahme 5 x pro Sekunde mit Stationsabstand von ca. 6 m. Transmitter GBR (16.0 kHz) als INLINE-Station und NAA (24 kHz) als ORTHO-Station. Die Sensor-Antenne befand sich an einem Kabel ca. 10 m unter dem Fluggerät (RØNNING et al. 2003). Zum anderen wurden ältere Daten einer VLF-Kampagne, welche 1986 vom Flugzeug aus mit 2 Transmitterfeldern bei einem Linienabstand von 200 m zwischen E-W-Linien erfolgte, erneut interpretiert.

Neben der Kartendarstellung 1 : 20.000 der VLF-EM-Parameter Total In-Line und Total Orthogonal (RØNNING et al. 2003) erfolgte eine visuelle Interpretation der aufbereiteten Daten in einem GIS z.T. durch Übereinanderlegen von verschiedenen Messparametern. Es konnten Strukturen niedrigen Widerstands als Lineamente identifiziert und mit einem Unsicherheitsgrad bewertet werden. Diese werden als Klüfte oder bodenbedeckte Vertiefungen der Grundgebirgs-Topographie interpretiert. Da die Richtung des Primärfeldes der Transmitter und am Empfänger bei der Helikoptererkundung leicht variierte und nicht immer senkrecht zur Fluglinie war, sind einige Lineamente unterbrochen bzw. werden bei Streichrichtung N-S unterrepräsentiert. Durch die E-W-Orientierung der Flugzeug-Kampagne werden N-S-orientierte Lineamente besser detektiert, Lineamente mit E-W-Streichen jedoch unterrepräsentiert.

Das Ziel, Lineamente zu identifizieren, konnte erreicht werden, wobei die einzelnen Kampagnen (EM und VLF) ähnliche Ergebnisse produzierten. Zur Identifizierung topographischer Lineamente auf dem Meeresgrund dienten inverse Wassertiefen. Gebiete nahe von Hochspannungsleitungen und Kraftwerken wurden bei der Interpretation ausgelassen.

TRIUMF et al. (2003)

Qualität: 2 - 3

Quantität: 3

Seismik :

siehe auch B3.2

Refraktionsseismik auf 14 Profilen, um zu erkunden, ob die im Meer um Ävrö und der Simpevarp-Halbinsel erkundeten Lineamente tatsächlich zu Deformationszonen gehören. Low-velocity-Zonen zeigen die Existenz von Deformationszonen.

SKB (2005a)

Qualität: 2

Quantität: 2

Die Lineamentidentifizierung zur Erstellung eines regionalen Strukturmodells für den Großraum Simpevarp (SDM Version 1.2, 2005) erfolgte aus der Kombination und Integration von Lineamenten unter Einbeziehung aller unterschiedlichen Datensätze und der Re-Evaluierung früherer Lineamentangaben zu sogenannten „linked lineaments“.

Gesamtergebnis war eine regionale Karte aller zusammengestellten und verbundenen Lineamente inklusive der Zuordnung von Attributen wie z.B. der Angabe der Unsicherheit (low, medium, high) und der Klassifizierung in regionale (> 10 km) und lokale Hauptstrukturen (1 bis 10 km). Einige der Strukturen konnten anhand anderer Informationen wie Bohrlochdaten, seismische Reflexion/Refraktion als Grundgebirgsstrukturen interpretiert werden. Auf Basis dieser Karte wurde ein regionales Modell der Deformationszonen (Strukturmodell) erstellt und eine DFN-Analyse (Discrete Fracture Network) vorgenommen.

SKB (2005a)

Der Vergleich zweier unabhängiger Studien (GeoVista AB und Geological Survey of Finland) zur Lineamentinterpretation im Simpevarp-Gebiet aus aero-geophysikalischen d.h. *magnetischen*, *EM*- und *VLF*-Daten (siehe RØNNING et al. 2003) und detaillierten *topographischen* Daten (siehe WIKLUND 2002), die während der ersten Standorterkundungs-Phase gewonnen wurden zeigt, dass die Ergebnisse hinsichtlich der Identifizierung und Ausweisung von Lineamenten prinzipiell reproduzierbar sind. Die Lineamentmuster sind konsistent, die zugewiesenen Eigenschaften wie Länge, Unsicherheit variieren jedoch bedeutend. Um Detailgenauigkeit zu erreichen, müssen auch kürzere Lineamente < 1.000 m mit einbezogen werden. Es sind keine Aussagen hinsichtlich der Zugehörigkeit zu einer Deformationszone möglich. Die weitergehende Erkundung der Lineamente erfordert die Beobachtungen an Aufschlüssen, Gräben, Bohrungen und den Einsatz der Oberflächen-Geophysik. Da es unmöglich

ist, direkte Informationen (Verifizierungen) zu allen Lineamenten zu sammeln, sind Verallgemeinerungen und die Konzentration auf strategisch wichtige Bereiche unumgänglich.

JOHANSSON (2006)

A3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**A3.4 Geol. Kartierung****A3.5 Bohrungen****A3.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A3.7 Feldmessungen - Geochemie****A3.8 Feldmessungen - Geomechanik****A3.9 Labor****A3.10 Untertage Geophysik****A3.11 Untertage geol. Kartierung****A3.12 Untertage Bohrungen****A3.13 Untertage In-situ-Messungen****A3.14 Untertage Labor****A4 Regionales Spannungsfeld****A4.1 Fernerkundung****A4.2 Geophysik (übertägig)****A4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A4.4 Geol. Kartierung****A4.5 Bohrungen****A4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A4.7 Feldmessungen - Geochemie****A4.8 Feldmessungen - Geomechanik****A4.9 Labor****A4.10 Untertage Geophysik****A4.11 Untertage geol. Kartierung****A4.12 Untertage Bohrungen****A4.13 Untertage In-situ-Messungen****A4.14 Untertage Labor****A5 Temperatur und Wärmeleitfähigkeit****A5.1 Fernerkundung****A5.2 Geophysik (übertägig)****A5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

In 6 Bohrlöchern wurde die Temperatur der Bohrflüssigkeit in verschiedenen Tiefen gemessen. Wiederholungsmessungen an 2 Bohrlöchern zu mehreren Zeitpunkten wiesen jedoch in einer bestimmten Tiefe Abweichungen auf, was auf Fehler hinweisen könnte, die auf den Bohrvorgang, die Neigung des Bohrlochs oder Wasserbewegung entlang des Bohrlochs zurückzuführen sein könnte. Im Rahmen der Standortmodellierung 2005 (SDM 1.2) wurde basierend auf dem lithologischen Modell und kontinuier-

lichen Dichtemessungen in Ävrö-Granit-dominierten Bohrlöchern ein thermisches Modell für das Simpevarp-Gebiet erstellt (siehe auch B7d.3).

SKB (2005a)

Qualität: 2 Quantität: 2

A5.4 Geol. Kartierung

A5.5 Bohrungen

A5.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A5.7 Feldmessungen - Geochemie

A5.8 Feldmessungen - Geomechanik

A5.9 Labor

A5.10 Untertage Geophysik

A5.11 Untertage geol. Kartierung

A5.12 Untertage Bohrungen

A5.13 Untertage In-situ-Messungen

A5.14 Untertage Labor

A6 Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z. B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)

A6.1 Fernerkundung

A6.2 Geophysik (übertägig)

A6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A6.4 Geol. Kartierung

A6.5 Bohrungen

A6.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A6.7 Feldmessungen - Geochemie

A6.8 Feldmessungen - Geomechanik

A6.9 Labor

A6.10 Untertage Geophysik

A6.11 Untertage geol. Kartierung

A6.12 Untertage Bohrungen

A6.13 Untertage In-situ-Messungen

A6.14 Untertage Labor

A7 Rohstoffvorkommen

A7.1 Fernerkundung

A7.2 Geophysik (übertägig)

Zur Beurteilung des Lagerstättenpotenzials für Erze, Industriemineralien und Werksteine im gesamten Simpevarp-Gebiet (270 km²) wurden Daten der regionalen Kampagne von 1998 bis 1999 und geophysikalische Messungen aus der Luft (RÖNNING et al. 2003, TRIUMF et al. 2003, TRIUMF 2004 a,b,c) und am Boden erneut interpretiert. Die Beurteilung des Erzpoteziels erfolgte zum Teil auf den geophysikalischen Messungen, größtenteils jedoch auf geochemischen Beprobungen der u.a. mittels Geophysik ausgewiesenen Gesteinsvorkommen.

Der Götemar-Granit als potenziell erzführendes Gestein kann durch Kombination von *Aero-Magnetik* und erhöhter *radiaktiver Strahlung* durch Uran und Thorium und als *Gravimetrie*-Minimum detektiert werden (BERGMAN et al. 1998). Die Vererzung selbst in Form dünner Adern kann mittels *Helikoptererkundung* nicht detektiert werden. Unter guten Bedingungen wäre eine detaillierte Bodenmessung mit *Induzierter Polarisation (IP)* dazu in der Lage.

Bei ausreichender Größe (300 bis 400 m Durchmesser) sind dioritisch-gabbroide Massive (potenziell Ni, Cu, Pt) als Subintrusionen von Granitkomplexen mittels *Magnetik*, *Gravimetrie* und *Gammastrahlungsmessungen* (K, U, Th) ausweisbar, was anhand der *Helikopter-Daten* und der *Boden-Gravimetrie* sehr leicht möglich sein müsste. Trotz des bisher negativen Befundes detaillierter geophysikalischer Erkundung im Untersuchungsgebiet kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich solche Subintrusionen in Randgebieten befinden.

Sind Diorit-Gabbro-Komplexe mit Ni-, Cu- und Pt-Sulfidvererzungen assoziiert, müsste eine erhöhte elektrische Leitfähigkeit auftreten. Es wird darauf hingewiesen, dass bei einer aerogeophysikalischen Erkundung Größe, Form und Kontrast der Mineralisation wichtige Faktoren darstellen. Da in den hier durchgeführten *Helikoptererkundungen* von *Multifrequenz-EM*-Daten keine Anomalien im Bereich dieser Gesteine auftraten, können Sulfidmineralisationen von ökonomischer Größe ausgeschlossen werden.

Elemente der Platin-Gruppe treten meist in geschichteten, mafischen Intrusionen auf. Generell ist der Sulfidmineral-Gehalt jedoch so gering, dass eine Detektion mittels erhöhter elektrischer Leitfähigkeit nicht erwartet werden kann.

Die geophysikalische Studie hat einige Merkmale bestimmter Gesteinstypen ausgewiesen, die möglicherweise auf Lagerstätten hinweisen könnten und mit geochemischen Daten überprüft wurden. Obwohl aus den rein geophysikalischen Kampagnen keine direkten Rückschlüsse auf Erz oder erzführendes Gestein möglich waren, wurden geophysikalisch detektierte Anomaliebereiche überprüft. In Zusammenarbeit mit geochemischen Untersuchungen wurde eine Karte der mineralischen Rohstoffe für das regionale Simpevar-Gebiet erstellt und einige Granittypen als endlagerungeeignetes Wirtsgestein beurteilt, da diese geringfügiges Erzpotential aufweisen bzw. als Werkstein interessant werden könnten. In den Teilgebieten Laxemar und Simpevarp sind keine Erz- oder Mineralpotentiale zu finden.

LINDROOS (2004)

Qualität: 2 Quantität: 3

Eine Bewertung der Qualität ist nur als Durchschnittswert aller genutzten Verfahren möglich.

A7.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A7.4 Geol. Kartierung

A7.5 Bohrungen

A7.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A7.7 Feldmessungen - Geochemie

A7.8 Feldmessungen - Geomechanik

A7.9 Labor

A7.10 Untertage Geophysik

A7.11 Untertage geol. Kartierung

A7.12 Untertage Bohrungen

A7.13 Untertage In-situ-Messungen

A7.14 Untertage Labor

B Eigenschaften des Wirtsgesteins und des Deckgebirges am Standort

B1 Lithologie/Stratigraphie

B1.1 Fernerkundung

B1.2 Geophysik

Seismik:

Um Inhomogenitäten im Grundgebirge festzustellen, die u.a. auf Gesteinskontakte zurückzuführen sind, erfolgten hochauflösende *Reflexionsseismik*-Kampagnen (siehe B3.2).

SKB (2005a)

Qualität: 2 Quantität: 2

Magnetik:

Mit Hilfe detaillierter Magnetometer-Erkundungen am Boden (siehe B3.2) auf einer Fläche von 2 km² (2005) und 3,5 km² (2006, s.u.) konnten Granit-Gänge als Variation der Grundgebirgsgeologie ausgewiesen werden.

SKB (2006d)

Im Zuge einer detaillierten Bodengeophysik-Kampagne 2005/2006 in Laxemar auf einer Fläche von ca. 3,5 km² erfolgten Messungen des *magnetischen Totalfeldes* (siehe B3.2) als N-S-Profillinien mit 10 m Abstand und 5 m Stationsabstand. Für die Interpolation einer Messwertmatrix und für die numerische Modellierung wurden Daten einer früheren Erkundung (2005) einbezogen.

Eine Zielstellung war u.a. die Erkundung der lithologischen Homogenität des Grundgesteins bzw. Gebiete unterschiedlich starker Magnetisierung auszuweisen, um diese anschließend der entsprechenden Lithologie zuordnen zu können. Dabei wurden Messungen der magnetischen Suszeptibilität an aufgeschlossenen Gesteinen, lithologische Karten und magnetische Totalfeldmessungen kombiniert und Auswahlkriterien definiert. Es konnten unterschiedlich magnetisierte Gebiete lokalisiert und ausgewiesen werden.

Im Bereich von Hochspannungsleitungen konnten keine verlässlichen magnetischen Messungen durchgeführt werden.

THUNEHED & TRIUMF (2006)

Die Kartierung des Grundgebirges (Stand 2004) erfolgte mit Hilfe einer Aufschlussdatenbank und Aero-Magnetikdaten (siehe WAHLGREN et al. 2004).

SKB (2005a)

Durch Vergleich der magnetischen Suszeptibilität von Aufschlüssen, lithologischen Kartierungen und den magnetischen Totalfeldmessungen konnte eine Karte der möglichen Inhomogenitäten erstellt werden. Das Ziel der Identifizierung potenzieller lithologischer Inhomogenitäten im Grundgebirge, welche einer bestimmten Mineralogie (Diorit, Gabbro, feinkörniger Dioritoid) zugeordnet werden können, konnte erreicht werden. Weitere Gebiete mit geringer Magnetisierung konnten ausgewiesen werden.

THUNEHED & TRIUMF (2005)

Qualität: 2 - 3 Quantität: 3

Geoelektrik:

Im Zuge der detaillierten Oberflächen-Geophysik-Kampagne 2005/2006 in Laxemar auf einer Fläche von ca. 3,5 km² erfolgte eine Erkundung des *elektrischen Widerstands* auf 3 Flächen mit jeweils 400 x 400 m (siehe B3.2). Es wurden E-W-Profillinien mit 10 m Abstand und Elektrodenabständen von 5 m ausgelegt. Eine Gradient-Messanordnung ermöglicht Erkundungstiefen bis zu 60 m. Die Daten wurden zu 2D- und 3D-Modellen invertiert.

Ziel war u.a. die Interpretation der Mächtigkeit der Bodenschicht und die Interpretation von Bodeneinheiten. Für die 3 Einzelflächen konnten Karten der Bodenmächtigkeit und des Grundgesteinsreliefs erstellt werden. Die Mächtigkeit der Bodendecke wurde aus invertierten Widerstandssektionen abgeleitet. Da mit Elektrodenabständen von 5 m lediglich Auflösungen der Mächtigkeit >1-2 m möglich sind und die Widerstände von Boden und klüftigem Gestein sehr ähnlich sind, ist die Boden-Gesteins-Grenzfläche schwer zu interpretieren. Die Bodenmächtigkeit wurde mit *refraktionsseismischen* Profilen verglichen.

THUNEHED & TRIUMF (2006)

Qualität: 3 Quantität: 3

B1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

2006 erfolgten in 10 Kernbohrungen des Laxemar-Gebietes geophysikalische Bohrlochmessungen, 8 davon auf einer kleineren Fläche von ca. 0,5 x 1,5 km (S. 8).

Parameter: Dichte (*Gamma-Gamma*); *magnetische Suszeptibilität*, *natürliche Gammastrahlung*, *fokussierter Widerstand* (300 cm), *fokussierter Widerstand* (140 cm), *Schall* (P-Wellen), *Kaliber Mittelwert*, *Kaliber 1D*, *SPR* (Single Point Resistivity), *Fluidwiderstand*, *Fluidtemperatur*.

Dichtemessungen und magnetische Suszeptibilitätsdaten wurden mit petrophysikalischen Daten der Bohrkerne kalibriert. Kaliber-Logs wurden mit technischen Bohrlochinformationen von SKB kalibriert.

Die Kombination aus Silikatdichte (berechnet), magnetischer Suszeptibilität und natürlicher Gammastrahlung als sogenannte „lithologische Bohrlochdaten“, zusammen mit petrophysikalischen Daten ermöglicht die Abschätzung der physikalischen Signatur verschiedener Gesteinstypen, wodurch eine lithologische Interpretation in 5 Gesteinstypen möglich wurde. Größere Änderungen der Parameter mit der Tiefe weisen auf Änderungen der Lithologie und der thermischen Eigenschaften hin. Das Rauschlevel der Dichtemessungen war hier in allen Bohrlöchern sehr viel größer als der empfohlene Maximalwert. Für alle Bohrlöcher wurden Silikatdichte, magnetische Suszeptibilität, natürliche Gammastrahlung bestimmt, klassifiziert und u.a. Quarzgehalte und Risshäufigkeit abgeleitet.

MATTSSON et al. (2006)

Durch die zahlreichen geophysikalischen Kampagnen ist eine umfangreiche petrophysikalische Charakterisierung der Gesteinstypen entstanden. Eine Zusammenstellung der petrophysikalischen Daten von Gesteinsproben und in-situ-Messungen u.a. Gamma-Spektrometrie aus 32 Lokationen enthält MATTSSON et al. (2003).

LINDROOS (2004)

Kern- und Schlagbohrungen im Großraum Simpevarp wurden mit *BIPS* (Boremap-Kartierung mit Farb-TV-Kamera), *Bohrlochradar* mit Dipol-Antenne und konventionellen geophysikalischen Bohrlochmessverfahren, d.h. *elektrischen*, *magnetischen* und *radiometrischen* Methoden untersucht. Es wird eine kontinuierliche lithologische Verteilung bis in Bohrlochtiefen von 1.000 m wiedergegeben. Die Daten flossen u.a. in lithologische Modelle ein. Mit Hilfe von Boremap-Logging (BIPS) wurden für einige Bohrungen Gesteinseigenschaften abgeschätzt.

SKB (2005a)

Anhand der Charakterisierung mit petrographischen, geochemischen und petrophysikalischen Analysen von Oberflächenproben sowie gamma-spektrometrischen Messungen an Aufschlüssen zur Bestimmung der Urangehalte konnten 36 Gesteinstypen unterschieden werden, um ein regionales, lithologisches Modell für das Simpevarp-Gebiet einschließlich Laxemar (SDM 1.2) zu erstellen. Entscheidende Parameter sind die Zusammensetzung, Korngröße, Struktur und/oder Alter. Zum damaligen Zeitpunkt (2004) flossen jedoch hauptsächlich Daten des Simpevarp-Teilgebietes in die Modellierung ein. Als Input für das Standortmodell (SDM 1.2) dienten 6 tiefe Kernbohrungen plus mehrere flachere Schlagbohrungen. Geophysikalische Modellierung wurde angewandt, um geometrische Beziehungen zwischen Gesteinseinheiten herzustellen.

Die Sicherheit des Modells hinsichtlich Auftreten und Geometrie der Gesteinseinheiten an der Oberfläche wird für das Gebiet außerhalb des Simpevarp-Teilgebietes mit lediglich mittel bis niedrig bewertet.

SKB (2005a)

Qualität: 3 Quantität: 3

B1.4 Geol. Kartierung

Im Untersuchungsgebiet wurden die Locker- und Festgesteinstypen kartiert, 353 Aufschlüsse im Festgestein im Simpevarp-Teilgebiet; SKB (2001)

Kombiniert mit den Ergebnissen aus den Bohrungen und den Analysen der Proben wurden 13 Festgesteinstypen ausgehalten; SKB (2005)

Das Laxemar-Gebiet wurde neu kartiert. Es entstand eine Karte der anstehenden Gesteine im Maßstab 1 : 10.000 für dieses Gebiet sowie direkt angrenzende Regionen. Zwei Aufschlüsse wurden gereinigt, um die Gesteine sowie das Kluftsystem detailliert im Maßstab 1 : 50 zu kartieren (SKB, 2006c). Einer der Aufschlüsse ist die Bohransatzlokation der Bohrung KLX05.

In Gruben (pit) und Schürfen (über 170 m Länge) wurden Proben des quartären Lockergesteins genommen, um die Korngrößen und den Kalkgehalt zu bestimmen; SKB (2006a)

Qualität: 3 Quantität: 3

Quantität: Abschätzung der Stufe 3, da die Kartierung, nach SKB-Vorgabe einheitlich, basierend auf bestehenden Karten durchgeführt und mit anderen Methoden und Messungen abgeglichen wurde, kann davon ausgegangen werden, dass die erarbeiteten Maßstäbe der Quantitätsstufe von 3 entsprechen.

B1.5 Bohrungen

Mehr als 300 stratigraphische Einheiten konnten in den quartären Lockergesteinen anhand von 2 bis 3 m tiefen Stangenbohrungen, die von Hand ausgeführt wurden, ermittelt werden; SKB (2006a)

Qualität: 2 Quantität: 3

(Quantität: die hohe Zahl von unterschiedlichen Schichten und die allgemein hohe Qualität/Quantität der Bearbeitung spricht für eine hohe Zahl von Stangenbohrungen).

Die Lithologie wurde in den Schlagbohrungen anhand von Spülproben bestimmt, die auch für mikroskopische Untersuchungen verwendet wurde. Die Beprobung des Bohrkleins erfolgte im Abstand von 3 Metern; SKB (2001 & 2005).

Im Festgestein wurde von jedem Bohrmeter eine Probe des Bohrkleins entnommen; SKB (2005)

Den Bohrkernen wurden Proben für mikroskopische Untersuchungen und Laboranalysen der Gesteinsmatrix sowie der Kluffüllungen entnommen; SKB (2001)

Nachdem die Kern- oder Schlagbohrungen fertiggestellt wurden, wurden die Bohrlochwände, als Basis der geologischen Aufnahme, mit einer Videokamera abgefilmt, um die lithologischen Grenzen zu lokalisieren; SKB (2001)

In Simpevarp wurden zur Untersuchung des Untergrundes 4 gekernte Tiefbohrungen (ca. 1.000 m), 2 gekernte Flachbohrungen (100 m), 11 Schlagbohrungen (ca. 200 m) und 19 Lockergesteinsbohrungen niedergebracht. Im nördlichen Teil des Gebietes waren bereits eine gekernte Tiefbohrung (700 m) und mehrere flache Schlagbohrungen vorhanden; SKB (2005 & 2006a)

In Laxemar wurden 8 gekernte Tiefbohrungen (ca. 1.000 m) und 35 Schlagbohrungen niedergebracht. Außerdem sind in dem Gebiet 2 gekernte Tiefbohrungen und 12 Schlagbohrungen vorhanden, die im Rahmen der Äspö-Untersuchungen gebohrt wurden; SKB (2006a)

In Oskarshamn wurden insgesamt 45 Lockergesteinsbohrungen (soil wells) im Deckgebirge niedergebracht; SKB (2006a)

Die Kernbohrungen sind annähernd vertikal oder um 60° geneigt, der Durchmesser des beträgt 75,8 mm, der der Kerne 50,2 mm. Sie wurden als Teleskop-Bohrungen abgeteuft, wobei für die ersten 100 m das Schlagbohrverfahren mit einem Durchmesser von 200 oder 250 mm eingesetzt wurde. Der Durchmesser von 250 mm wurde bei Bohrungen verwandt, deren Bohrlochwände stabilisiert werden mussten, dafür wurde eine Edelstahlverrohrung im Bohrloch einzementiert oder ins Lockergestein eingesetzt, damit kein Bodenwasser in die Bohrung eindringen kann. Anschließend wurde eine Verrohrung mit Messgeräten oder Pumpen installiert. Im Zentralteil wurde eine weitere Verrohrung eingebracht, durch die die eigentliche Kernbohrung von 100 m an mit dem triple tube-Verfahren und einem Durchmesser von 76 mm abgeteuft wurde. Am Übergang vom aufgeweiteten zum dünneren Teil wurde eine konische Führung aus Edelstahl eingebaut. Im oberen aufgeweiteten Teil wurde das Bohrklein und Wasser mit Druckluft nach oben transportiert. In den Bohrungen wurden alle 50 m Tiefenmarkierungen angebracht. Das Wasser, das für die Bohrspülung verwendet wurde, wurde mit UV Licht bestrahlt, um Bakterien zu töten, der gelöste Sauerstoff wurde minimiert und ein Uranintracer beigegeben, um bei Probenahmen eine Verunreinigung mit Bohrspülung erkennen zu können; SKB (2006a)

Die 35 Schlagbohrungen haben einen Durchmesser von 140 mm, die meisten sind 100 bis 200 m tief. Sie wurden mit wenigen Ausnahmen durch wasserführende Störungszonen gebohrt; SKB (2006a).

Qualität: 2	Quantität: 2	GWM und Lockergesteinsbohrungen (Spülproben)
Qualität: 3	Quantität: 1	Kernbohrungen
Qualität: 2 - 3	Quantität: 2	Schlagbohrungen mit Videoaufnahme der Bohrlochwand

B1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B1.7 Feldmessungen - Geochemie

B1.8 Feldmessungen - Geomechanik

B1.9 Labor

B1.10 Untertage Geophysik

B1.11 Untertage geol. Kartierung

B1.12 Untertage Bohrungen

B1.13 Untertage In-situ-Messungen

B1.14 Untertage Labor

B2 Geometrie

B2.1 Fernerkundung

B2.2 Geophysik (übertägig)

Seismik:

Anhand *refraktionsseismischer* Profilmessungen (Mai 2004) in Laxemar mit 8 Profilen mit insgesamt 3.890 m Länge, konnten geometrische Informationen wie z.B. die Mächtigkeit der Bedeckung entlang der Profile bestimmt werden.

LINDQVIST (2004)

Qualität: 2 Quantität: 2

Magnetik:

Messungen des magnetischen Totalfeldes 2004 entlang einer Profillinie im Laxemar-Gebiet (ca. 6 x 4 km) unter Verwendung eines Magnetometers mit eingebautem GPS-Empfänger, welches im Walking-Modus mit einem Punktabstand von < 2 m und einer Basisstation betrieben wurde. Die Interpretation und Modellierung baute auf den Ergebnissen der Helikoptererkundung des Geological Survey of Sweden (SGU) von 1986 auf und fand unter Einbeziehung erhältlicher petrophysikalischer Daten des Grundgesteins des Untersuchungsgebietes statt. Die Interpretation bestand hauptsächlich aus der gemeinsamen Modellierung von *Gravimetrie- und Magnetikdaten*, wurde sehr pragmatisch auf einzelne Fragestellungen ausgerichtet und mit lediglich ausreichend guter (nicht perfekter) Anpassung zwischen Modell und Daten durchgeführt.

Ziel der Modellierung des magnetischen Totalfeldes und der Gravimetrie war es, Informationen zur geometrischen Tiefenlage und zum generellen Einfallen der kristallinen Hauptgesteinseinheiten bzw. weiterer möglicher Anomaliequellen zu erhalten. Die Ergebnisse werden u.a. für die weitere Planung z.B. Lage von Bohrungen benötigt und können lithologische Modelle ergänzen.

Die *Magnetik*messungen entlang der Profillinie sind abschnittsweise von starkem Rauschen, vor allem durch Hochspannungsleitungen, gestört. Aufgrund der hohen Punktdichte konnten zahlreiche kurzweilige Magnetfeld-Anomalien identifiziert werden, die jedoch nicht modelliert wurden. Stattdessen wurden generelle Trends des magnetischen Feldes entlang des Profils zusammen mit *Gravimetrie*-Daten modelliert. Es konnte die generelle Einfallrichtung einiger Gesteinseinheiten erfolgreich ermittelt und an der Lithologie und den geophysikalischen Eigenschaften einer bereits vorhandenen Bohrung bestätigt werden. Eine genaue Prognose ist jedoch unsicher z.T. aufgrund der allgegenwärtigen Ambiguität von Potenzialfeld-Modellierung (ein Ergebnis - mehrere Modellursachen).

Obwohl versucht wurde, die Randbedingungen mittels vorhandener Informationen zur Oberflächengeologie und physikalischen Eigenschaften einzugrenzen, muss die Unsicherheit des Modells hinsichtlich Geometrie und den physikalischen Eigenschaften als mittel bis hoch beurteilt werden. Eine bessere Anpassung zwischen Modell und Daten könnte erreicht werden, wird jedoch als nicht vertretbar betrachtet und der generelle Charakter des Modells wird dabei erhalten bleiben. Die Ergebnisse der Modellierung der Gesteinseinheiten des gesamten Laxemar-Gebietes werden von den Modellierungsergebnissen der 2 Profilmessungen (*Magnetik* und *Gravimetrie*) gut wiedergegeben. Für Gesteinseinheiten mit extrem hoher magnetischer Suszeptibilität konnten Tiefenlagen abgeschätzt werden. Anhand der Modelle wurden physikalische Eigenschaften und Geometrien einzelner Gesteinskörper bzw. der Kontaktflächen unterschiedlicher Einheiten ermittelt und z.T. Einfallsrichtungen bestimmt, welche im generellen Einklang mit Ergebnissen der Helikoptererkundung von 1987 stehen.

TRIUMF (2004a)

Im Zuge einer detaillierten Bodengeophysik-Kampagne 2005 (März bis Mai) in Laxemar auf einer Fläche von 1 x 2 km wurden *Magnetik*-messungen entlang von N-S-Profilen im Abstand von 10 m und einem Stationsabstand von 5 m aufgenommen (siehe B3.2). Die Erkundung der Geometrie von Anomalien mittels numerischer Modellierung (3D) an 4 Profilen unter Abgleich mit Angaben zur magnetischen Suszeptibilität aus Bohrlochmessungen war erfolgreich. Daten aus der Nähe von Stromleitungen wurden nicht verwendet und die entsprechenden Gebiete leer gelassen.

THUNEHED & TRIUMF (2005)

Qualität: 3 Quantität: 3

Gravimetrie:

Kampagne 2004 (März bis Juni) mit 74 Stationen im Laxemar-Gebiet und unmittelbarer Umgebung auf einer Fläche von ca. 6 x 4 km. 28 Stationen wurden entlang eines ca. 5 km langen Profils gemessen, die restlichen 46 Stationen wurden z.T. so positioniert, dass Datenlücken der regionalen Gravimetriekampagne des Swedish Geological Co (SGAB) von 1987 (siehe NYLUND 1987), welche den Großraum Simpevarp und Oskarshamn erfasst, gefüllt werden konnten. Die Messungen erfolgten mit Gravimeter und real-time kinematic (RTK)-GPS. Zur Interpretation wurden ältere Daten der Kampagne von 1987 einbezogen, anschließend ein Raster erstellt und in Kombination mit Magnetikdaten ausgewertet (s.u. Magnetik). Es war möglich, Vorstellungen von Geometrie bzw. Einfallen der wichtigsten Gesteinseinheiten im Laxemar-Gebiet zu erarbeiten, die auch gut mit den Bohrerergebnissen korrelieren.

TRIUMF (2004a)

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2 - 3

Die Bewertung 2 - 3 bezieht sich darauf, dass die Punkte zwar in der Fläche gemessen wurden, jedoch auch konzentriert entlang von Profilen. Die Punktdichte der mit verwendeten regionalen Aufnahme ist nicht bekannt.

B2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B2.4 Geol. Kartierung

Im Untersuchungsgebiet wurde die Ausdehnung der Locker- und Festgesteinstypen an der Oberfläche kartiert; SKB (2001)

Qualität: 3 Quantität: 3

Quantität: Abschätzung der Stufe 3, da die Kartierung nach SKB-Vorgabe einheitlich, basierend auf bestehenden Karten durchgeführt und mit anderen Methoden und Messungen abgeglichen wurde, kann davon ausgegangen werden, dass die erarbeiteten Maßstäbe dem Quantitätsstand von 3 entsprechen.

B2.5 Bohrungen

Anhand der Bohrungen wurde die Tiefenlage der Strukturen bestimmt; SKB (2006a)

Qualität: 2	Quantität: 2	GWM und Lockergesteinsbohrungen (Spülproben)
Qualität: 3	Quantität: 1	Kernbohrungen
Qualität: 2 - 3	Quantität: 2	Schlagbohrungen mit Videoaufnahme der Bohrlochwand

B2.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B2.7 Feldmessungen - Geochemie****B2.8 Feldmessungen - Geomechanik****B2.9 Labor****B2.10 Untertage Geophysik****B2.11 Untertage geol. Kartierung****B2.12 Untertage Bohrungen****B2.13 Untertage In-situ-Messungen****B2.14 Untertage Labor****B3 Makro-Struktur****B3.1 Fernerkundung****B3.2 Geophysik (übertägig)**Seismik:

Reflexionsseismik-Kampagnen geben Hinweise auf mögliche horizontale Deformations-zonen, die anschließend näher erkundet werden.

SKB (2006d)

Refraktionsseismische Profilmessungen (Mai 2004) wurden in Laxemar quer über bereits mit Luftbild-aufnahmen oder mit geophysikalischer Helikoptererkundung lokalisierten Lineamenten durchgeführt. Diese sollten näher charakterisiert werden, um eventuell eine Ausweisung als Deformationszone vornehmen zu können. Es wurden 8 Profile mit insgesamt 3.890 m Länge gemessen und die seismischen Geschwindigkeiten im flachen Gesteinsuntergrund und in der Bedeckung interpretiert. Die meisten der Lineamente konnten als Zonen geringerer seismischer Geschwindigkeit (2.500 bis 4.000 m/s) im Vergleich zum unbeanspruchten Gestein (5.000 m/s - 5.800 m/s) bestätigt werden; LINDQVIST (2004)

Hochauflösende *Reflexionsseismik*-Kampagne (März 2003) im Gebiet um Simpevarp, in der Nähe von Oskarshamn, mit insgesamt 9,25 km Profillänge auf 10 Profilen. Zielsetzung war die Erkundung des Festgesteins bis in eine Tiefe von ca. 1 km. Anregungspunktabstand war 10 m, Empfänger-Abstand 2,5 m, Messapparatur eine Geometrics StrataVisor mit 93 Kanälen. In diesem Gebiet musste ein Vibrator eingesetzt werden, da eine Anregung durch mit Sprengstoffquellen in diesem Gebiet untersagt ist. Die Akquisitionsparameter sind ebenso wie die Processing-Parameter im Detail in JUHLIN (2003, p. 8, 9) aufgelistet. Die Ergebnisse weisen eine schlechte Qualität auf und sind für eine verlässliche Charakterisierung des Untergrundes ungeeignet ; (JUHLIN et al. 2003). VANGKILDE-PEDERSEN, T. (2003)

Hochauflösende *Reflexionsseismik*-Kampagne (Frühjahr 2004) im Gebiet um Oskarshamn mit insgesamt 9,9 km Profillänge bestehend aus zwei N-S-Profilen mit 3,9 km bzw. 4,2 km Länge und einem W-E-Profil von 1,8 km Länge. Zielsetzung ist die Erkundung des Festgesteins im Tiefenbereich von ca. 100 m bis mehrere Kilometer. Sender-Empfänger-Abstand war 10 m, Messapparatur eine SERCEL 408UL mit mindestens 160 aktiven Kanälen. Die Anregung erfolgte mit Dynamitquellen (Ladungsmenge 15 g oder 75 g). Auf einem Teilstück wurde eine mechanische VIBSIST-Anregungsquelle getestet. Die Akquisitionsparameter sind ebenso wie die Processing-Parameter im Detail in JUHLIN et al. (2004, p. 13, 15) aufgelistet. Die Ergebnisse zeigen ein ähnliches Reflexionsmuster wie ältere Kampagnen von 1999. Einige auch im Bohrloch beobachtete Reflektorhorizonte konnten als lediglich lokale, ande-

re als regionale Erscheinungen charakterisiert werden. Weiterhin konnten das Einfallen und die Begrenzung einiger Reflektoren bestimmt und über eine eventuelle Fortsetzung bis an die Oberfläche entschieden werden. Einige Reflektorhorizonte korrelieren mit topographischen Tieflagen und werden als Bruchzonen gedeutet. Für manche Strukturen reichte die Länge der Profile jedoch nicht aus, um Anfang und Ende detektieren zu können. Mit der VIBSIST-Quelle war eine vergleichbare, wenn nicht sogar bessere Datenqualität erreichbar als mit Dynamit; JUHLIN et al. (2004)

Qualität: 2 Quantität: 2

Magnetik:

Es wird zwischen regionalen Deformationszonen und lokalen Haupt (> 1.000 m)- und Nebendeformationszonen (< 1.000 m) unterschieden. Die Zonen > 1.000 m Länge sind anhand *magnetischer* und *topographischer* Daten sehr gut sichtbar und wurden u.a. mittels Bohrungen genauer lokalisiert und beschrieben.

Um die Lage kleinerer Deformationszonen und einzelner, längerer Risse im Grundgestein zu bestimmen, erfolgten detaillierte *Magnetometer*-Erkundungen am Boden auf einer Fläche von 2 km² (2005, s.u.) und 3,5 km² (2006, s.u.). Es konnten ca. 20 Teilgebiete mit kleineren Deformationszonen ausgewiesen werden, die daraufhin durch Oberflächenkartierung im Feld (Trenching) und durch 15 flache Kernbohrungen inklusive geophysikalischer Bohrlochmessungen und Radar näher erkundet wurden.

Mit Hilfe topographischer und Magnetik-Karten wurde eine Methode zum Auffinden von kleineren Deformationszonen (< 1.000 m) entwickelt. Diese wurde mit weiteren 10 flachen Bohrungen, welche in verschiedene Richtungen und auf 2 Flächen verteilt waren, erkundet, um die Fortführung der Klüfte im Untergrund zu erfassen.

SKB (2006d)

2005 (März bis Mai) wurde eine detaillierte Oberflächen-Geophysik-Kampagne (Magnetik, Geoelektrik s.u.) in Laxemar auf einer Fläche von 1 x 2 km (S. 8) durchgeführt. Ziele waren u.a. die detaillierte Erkundung der Deformation des Grundgebirges am Standort durch regionale und lokale Haupt- und Nebenzonen und die generelle Rissbildung. *Magnetische Totalfeldmessungen* erfolgten entlang von N-S-Profilen im Abstand von 10 m und einem Stationsabstand von 5 m. Die Messdaten wurden auf eine Matrix mit 5 m Gitterabstand interpoliert und anschließend gefiltert, um Karten zu erhalten, welche Inhomogenitäten im Gestein und Lineamente andeuten. An 4 Profilen erfolgte eine numerische 3D-Modellierung. Die Ergebnisse zeigen, dass durch Oxidierung des im Gestein vorhandenen Magnetits eine verringerte Magnetisierung auftritt. Die Identifizierung von Lineamenten und deren Verlauf und Lage zueinander, insbesondere unter Vergleich zu Lineamenten aus Widerstandsmessungen ist erfolgreich. Durch 3D-Modellierung des magnetischen Feldes unter Abgleich mit Bohrlochmessungen kann das Einfallen von Strukturen bestimmt werden. Daten aus der Nähe von Stromleitungen wurden nicht verwendet und die entsprechenden Gebiete leer gelassen.

THUNEHED und TRIUMF (2005)

Quer über potenziellen Lineamenten (S. 7), die zuvor aus Höhenmessungen und geophysikalischer Helikoptererkundung als topographische und magnetische Tiefs und z.T. als Widerstands-Tiefs identifiziert worden waren, erfolgten im Untersuchungsgebiet Laxemar geophysikalische Profilmessungen (s.u. Magnetik, Geoelektrik, Slingram) auf einer Fläche von ca. 6 x 4 km. An 8 Standorten wurden jeweils 3 parallele Profile aufgenommen.

An allen o.g. Profilen (8 x 3) erfolgten *Magnetikmessungen* mit einem Stationsabstand von 10 m. Die magnetische Totalfeld-Anomalie jeder Profilgruppe wurde auf ein 5-m-Gitter interpoliert und anschließend wurden Isolinien-Karten erstellt. Eine Modellierung der Magnetikdaten fand nicht statt. Ziel war es, Informationen über die physikalischen Eigenschaften der bereits vermuteten geologischen Strukturen (Lineamente) und deren Geometrie z.B. Weite und Einfallen zu ermitteln, um das Struktur- und Grundgesteinsmodell des Untersuchungsgebietes zu ergänzen.

Als Ergebnis konnte die Existenz schwach magnetischer Gesteine im Zusammenhang mit Lineamenten bestätigt werden. Niedrig magnetisierte Strukturen, die mit den Ziellineamenten zusammenhängen, konnten in allen Lokationen identifiziert werden. Als Ursache dieser magnetischen Minima wird die Zerstörung ferromagnetischer Minerale durch Deformation gesehen, was zu niedrigerer magnetischer Suszeptibilität führt und wodurch verändertes, oxidiertes Gestein erkennbar wird, was als Zeichen früherer, möglicherweise teilweise duktiler Deformation interpretiert wird. Diese magnetischen Minima befanden sich in vielen Fällen seitlich verschoben zu den topographischen und Widerstands-

anomalien. Die unterschiedliche Lage von magnetischen und Widerstands-Tiefs entlang von Störungen wird als Hinweis auf ein komplexes, mehrphasiges Deformationsgeschehen gedeutet.

THUNEHED et al. (2004)

2005/2006 erfolgte eine weitere detaillierte Oberflächen-Geophysik-Kampagne in Laxemar auf einer Fläche von ca. 3,5 km². Die Messungen des *magnetischen Totalfeldes* wurden als N-S-Profillinien mit Abständen von 10 m zueinander und Stationsabständen von 5 m durchgeführt. Messgerät Magnetometer GSM-19 von Gem Systems wovon eins als tägliche Basisstation verwendet wurde. Die Daten wurden mit Daten früherer Erkundungen (2005) in angrenzenden Gebieten ergänzt und auf eine Matrix mit 2,5 m Gitterabstand interpoliert, anschließend gefiltert und numerisch modelliert.

Ziel war die Erkundung der Art der Deformation des Grundgesteins hinsichtlich regionaler Zonen, lokaler Hauptzonen, lokaler Nebenzonen und genereller Klüftung. Es konnten einige semi-lineare, schwach-magnetische Strukturen nachgewiesen werden, die zu bereits bekannten Deformationszonen zugeordnet werden konnten. Weiterhin konnten neue, kurze Lineamente identifiziert und einige Lineamente aus früheren Kampagnen unter Angabe von Unsicherheitsfaktoren erneut bewertet werden. Vor allem Gebiete schwacher Magnetisierung sind hinsichtlich der Ausweisung konkreter Lineamente schwer zu interpretieren und wurden hier ausgewiesen. Der Fokus der Interpretation lag hier auf der räumlichen Signifikanz kürzerer, lokaler Lineamente.

THUNEHED & TRIUMF (2006)

Qualität: 3 Quantität: 3

Geoelektrik / Elektromagnetik :

Widerstandsmessungen

Am jeweils zentralen Profil (8 x 1) der o.g. Kampagne (s. Magnetik, THUNEHED et al. (2004)) wurden *elektrische Widerstandsmessungen* als Pseudosektionen in Pol-Dipol-Anordnung durchgeführt, wobei ein Scintrex IPR-12 Empfänger und ein Scintrex IPC-8 250W Transmitter verwendet wurden. Stationsabstand 25 m unter Verwendung von 8 Dipolen von 25 m Länge. Es konnten zusätzlich Daten der *induzierten Polarisation* (IP) gewonnen werden, die als zeitabhängige Aufladefähigkeit (chargeability) auf 11 Kanälen zwischen 310 bis 810 ms aufgenommen wurde. Aus den Widerstands- und IP-Daten wurden im Inversionsprogramm ResixIP2DI vertikale Sektionen produziert unter Annahme einer 2-dimensionalen Geometrie senkrecht zu den Profilen.

Ziele waren Informationen über die physikalischen Eigenschaften der bereits vermuteten geologischen Strukturen (Lineamente) und deren Geometrie z.B. Weite und Einfallen als Ergänzung zum Struktur- und Grundgesteinsmodell des Untersuchungsgebietes. Außerdem sollte die Ortung wasserführender Risse und/oder hoher Porositäten möglich sein, welche sich durch niedrigen elektrischen Widerstand auszeichnen müssten. Erstere werden als Zeichen bruchhafter Deformation interpretiert.

An allen Lokationen konnten Strukturen mit niedrigem Widerstand mit den Ziellineamenten assoziiert werden. Diese korrelieren sehr gut mit den topographischen Tieflagen. Es konnten Störungen hinsichtlich Geometrie, Einfallen, Lage charakterisiert und zu Strukturen zugeordnet werden. Die unterschiedliche Lage von magnetischen und Widerstands-Tiefs entlang von Störungen wird als Hinweis auf ein komplexes, mehrphasiges Deformationsgeschehen interpretiert. Für Strukturen mit geringem Widerstand wurden auf der Basis der invertierten Sektionen Gesamtwiderstände abgeschätzt. Strukturen geringen Widerstands mit niedriger Aufladefähigkeit (IP-Messung), weisen auf das Vorhandensein wassergefüllter Klüfte hin, da bei alternativer Klüftfüllung mit Chlorit- und/oder Tonmineralbildung auch eine erhöhte Aufladefähigkeit vorhanden sein müsste.

THUNEHED et al. (2004)

Im Zuge der detaillierten Oberflächen-Geophysik-Kampagne 2005 (März bis Mai) in Laxemar auf einer Fläche von 1 x 2 km (s.o. Magnetik) wurden u.a. *geoelektrische Widerstandsmessungen* durchgeführt. Es wurden 2 unterschiedliche Messsysteme verwendet:

1) Scintrex IPR-12 (Receiver) und IPC-7 (Transmitter) mit Dipollängen von 100 und 200 m und Pol-Dipol-Konfiguration (S. 15), um generelle Trends der Widerstandsverteilung in Tiefen von 80 bis 400 m zu erhalten. Messung auf 6 N-S-Profilen à 2 km mit einem Abstand von 200 m auf einer Fläche von 1 x 2 km. 3D-Inversion der Daten, um scheinbare Widerstände abzubilden.

2) ABEM Lund Imaging System, um detailgenaue Widerstandsverteilung von der Oberfläche bis ca. 100 m Tiefe zu erhalten. Verwendung unterschiedlicher Elektrodenabstände (5 - 50 m bzw. 30 - 300 m) und einer Gradientenkonfiguration. 10 x 2 km lange N-S-Profile (1 x 360 m breites Gebiet), 22 x 1 km (2 x 360 m breites Gebiete) lange E-W-Profile bei einem Profilabstand von 40 m auf einer Gesamtfläche von 1 x 2 km. Roll-along Kabel mit 4 aktiven Kabeln und 400 m Auslage. 3D-Inversion der Daten. Die Ergebnisse zeigen, dass die Pol-Dipol-Erkundung (1) einen Überblick über die Widerstandsverteilung bis in 300 bis 400 m Tiefe gibt. Das durch Stromleitungen verursachte Rauschen verschlechtert die Datenqualität und somit auch die Inversionsergebnisse für Tiefen > 300 m.

Das ABEM Lund Imaging System (2) leidet weniger unter dem Rauschen, besitzt jedoch eine geringere Eindringtiefe als das Pol-Dipol-System.

Aus Karten des scheinbaren elektrischen Widerstandes für unterschiedliche Konfigurationen konnten Lineamente identifiziert werden, die sich durch einen geringen Widerstand auszeichnen und die mit den in Magnetikdaten beobachteten Lineamenten zusammenfallen. Die Anzahl der Lineamente bei Widerstandsmessungen ist geringer als bei Magnetikmessungen, was auf die nicht immer vorhandene Anwesenheit von Kluftwasser zurückzuführen sein könnte. Es konnten einige größere Areale identifiziert werden, die sich durch geringen bzw. höheren Widerstand auszeichnen. Volumina mit höheren Widerständen werden als weniger klüftig als ihre Umgebung interpretiert. Einige Anomalien werden auf die Erdung von Stromleitungen zurückgeführt. Die betroffenen Daten wurden nicht ausgelassen. Die Interpretation des Einfallens einiger Anomalien mit geringem elektrischem Widerstand war möglich. Gebiete mit vergleichsweise hohem Widerstand konnten lokalisiert werden. Strukturen mit schwachem Magnetisierungsgrad und geringem Widerstand werden als bruchhafte Verformung im Gestein und als Deformationszonen mit komplexem Aufbau interpretiert. Der Gesamtwiderstand des Grundgesteins ist direkt gekoppelt mit Risshäufigkeit, Widerstand des Wassers in Klüften und Poren und Kluftweite und kann anhand der Datensätze ermittelt werden.

THUNEHED & TRIUMF (2005)

Im Zuge der detaillierte Oberflächen-Geophysik-Kampagne 2005/2006 in Laxemar auf einer Fläche von ca. 3,5 km² erfolgte eine Erkundung des *elektrischen Widerstandes* auf 3 Flächen mit jeweils 400 x 400 m im Umfeld von N-S-orientierten Lineamenten. Es wurden E-W-Profillinien mit 10 m Abstand zueinander und Elektrodenabständen von 5 m ausgelegt. Insgesamt 81 Elektroden pro Linie (roll-along Kabelsystem mit 4 Kabeln à 21 Elektroden und 3 überlappenden Elektroden bei einer Gesamtlänge von 400 m pro Layout), Verwendung einer Gradient-Messanordnung, wodurch Erkundungstiefen bis zu 60 m möglich waren. Messgerät: ABEM Lund Imaging System. Die Daten wurden anschließend zu 2D- und 3D-Modellen invertiert.

Mit Hilfe von 2D-Sektionen konnten niederohmige Anomalien im Grundgestein identifiziert und basierend auf dem Charakter der Widerstandsanomalien ein Einfallen abgeleitet und interpretiert werden. Durch kombinierte Interpretation von invertierten 2D-Sektionen und Tiefenschnitten des 3D-Modells konnten Lineamente identifiziert und in Karten abgebildet werden. Durch die Kombination von 2D- und 3D-Ergebnissen wurde soweit möglich ein Einfallen der Strukturen abgeleitet. Die Karten der scheinbaren Widerstände sind jedoch stark von der tonhaltigen Bodenbedeckung beeinflusst.

Für die 3D-Modelle wurde der Gesamtwiderstand des Grundgesteins als Indikator für die Gesteinsqualität (Klüftung, Porosität, Alteration) bestimmt. Anhand der Medianwerte von Modellen können Gebiete verglichen und mit Hilfe empirischer Modelle Bruchparameter und Porositäten abgeschätzt werden. Generell besteht eine klare Korrelation zwischen Rissbildung und elektrischem Widerstand, welcher jedoch auch von der Salinität des Porenwassers beeinflusst sein kann. Die Messungen des scheinbaren Widerstandes wurden hier von der tonhaltigen Bodenaufgabe beeinflusst, können aber bei ausreichend großen Elektrodenabständen vernachlässigt werden.

THUNEHED & TRIUMF (2006)

Elektromagnetische Slingram-Messungen:

Diese erfolgten an den 5 von 8 o.g. Profilgruppen (s. Magnetik), die entfernt von Hochspannungsleitungen lagen und wurden mit einer HLEM APEX MaxMin I-9 bei den Frequenzen 440, 3.520, 7.040 und 14.080 Hz mit einer Spulentrennung von 100 m und einem Stationsabstand von 20 oder 25 m durchgeführt. Die Daten wurden als Profilgraphen dargestellt. Wegen des durch anthropogene Einflüsse (Telefonleitungen und Zäune) verursachten Rauschens war eine numerische Modellierung nicht

sinnvoll. Die verlässlichen Daten einiger weniger Profile zeigten Slingram-Anomalien, die zusammen mit den wichtigsten Widerstands-Anomalien auftraten.

THUNEHED et al. (2004)

Qualität: 2 Quantität: 3

Qualität 2 wurde gewählt, weil die Aussagen für den Tiefenbereich des Endlagers weniger sicher sind als für den oberflächennahen Bereich.

Die indirekte Definition von Lineamenten als Ausdruck möglicher Deformationszonen erfolgte durch Auswertung geophysikalischer Karten (*Magnetik, VLF, Slingram, Gravimetrie*), der *Topographie* (siehe A3.1), *seismischer Reflexionen* und *Refraktionen* und kompilierten Bohrloch- und Reflexionsseismik-Daten (siehe „linked lineaments“ A.3.2). Es konnten 22 Deformationszonen (S. 137) mit hoher Sicherheit angegeben werden, da diese sowohl durch indirekte (s.o.) als auch direkte Beobachtungen in Bohrlöchern oder Tunnel nachgewiesen wurden. Das Einfallen und die Breite der Zonen wurden aus Bruchbereichen, Bereichen erhöhter Klüftigkeit und Mineralumwandlungen an Kernmaterial abgeschätzt. Die geologische Interpretation von weiteren 166 Lineamenten, die ebenfalls indirekt identifiziert wurden (s.o.), wurde sehr unsicher eingeschätzt und diese als potenzielle Deformationszonen ausgewiesen. Auf der Basis dieser sicheren und potenziellen Deformationszonen wurde ein regionales 3D-Deformationsmodell als Teil des Standortmodells Simpevarp SDM 1.2 erstellt. Dabei wurden Zonen ab 1 km Länge auf der lokalen Ebene bzw. ab 1,6 km Länge auf der regionalen Ebene erfasst. Zonen und Klüfte < 1 km wurden mit DFN-Modellen erfasst. Position, Orientierung (Streichen) und Länge der Deformationszonen wurden u.a. mit der Methode der „linked lineaments“ ermittelt. Weite und Einfallen u.a. mittels seismischer Erkundungen (Übersicht z.B. ab S. 503) und zur Beurteilung des bruchhaften Charakters einer Deformation wurden in einigen Fällen bodengeophysikalische Daten verwendet.

SKB (2005a)

B3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Im Zuge der Erkundung von lokalen Deformationszonen (siehe B3.2) erfolgten 15 flache Kernbohrungen inklusive geophysikalischer Bohrlochmessungen und Radar, um die Klufthäufigkeit und -orientierung zu ermitteln. Bis 2006 wurden im Untersuchungsgebiet Laxemar 43 Kernbohrungen abgeteuft (2 bis 1.100 bzw. 1.700 m Tiefe, 16 bis in 450 - 1.000 m Tiefe, 25 bis in 50 - 200 m Tiefe), 2 weitere standen noch aus. Weiterhin erfolgten 43 Schlagbohrungen bis 200 m Tiefe (Übersicht Bohrungen S. 26, 22). Es ist davon auszugehen, dass ein Großteil der Bohrungen mit *BIPS* (Borehole Image Processing System) zur Videofotografie der Bohrlochwand, Bohrlochradar zur Orientierungsmessung von Klüften und konventionellen geophysikalischen Bohrlochmessungen erkundet wurde, wobei ein großer Schwerpunkt auf der Identifizierung von Klufthäufigkeiten und -orientierung lag. Nach SKB (2005a) wurden aus Bohrlochdaten Kluffstatistiken erstellt und eine Unterscheidung zwischen offenen, teilweise offenen und verheilten Klüften vorgenommen. Die Daten flossen u.a. in Modellierungen des Kluffnetzwerkes (DFN - Discrete Fracture Network) und in Deformationszonen-Modelle ein.

SKB (2006d)

2006 erfolgten in 10 Kernbohrungen des Laxemar-Gebietes geophysikalische Bohrlochmessungen, 8 davon auf einer kleineren Fläche von ca. 0,5 x 1,5 km (S. 8). Parameter: Dichte (Gamma-Gamma); magnetische Suszeptibilität, natürliche Gammastrahlung, Fokussierter Widerstand (300 cm), Fokussierter Widerstand (140 cm), Schall (P-Wellen), Caliber Mittelwert, Kaliber 1D, SPR, Fluidwiderstand, Fluidtemperatur. Durch Analyse von *Widerstandsmessungen*, *fokussierten Widerstandsmessungen* (140 und 300 cm), *single point resistance-* (SPR), *Kaliber-* und *Schallmessungen* (verwendete Parameter siehe S. 14) können die Lage von großen Klüften, die Häufigkeit von Klüften entlang des Bohrlochs und Bereiche erhöhter Mineralumwandlungen interpretiert werden. Die geschätzte Rissshäufigkeit wurde in 5 m-Ab-schnitten ermittelt und klassifiziert (0 - 3, 3 - 6, > 6 Risse pro m). Für alle Bohrlöcher wurde u.a. die Rissshäufigkeit abgeleitet.

MATTSSON et al. (2006)

Qualität: 3 Quantität: 2 - 3

B3.4 Geol. Kartierung

Plastische und bruchhafte Strukturen sowie Störungszonen wurden regional und lokal kartiert; SKB (2001). Das heißt, 1.395 Messungen an insgesamt 1.350 Messpunkten der Laxemar- und zahlreiche Messungen an 353 Aufschlüssen der Simpevarp-Region (SKB, 2006c).

Im Rahmen der geologischen Kartierung wurden bei anstehenden Festgesteinen im Untersuchungsgebiet die tektonischen Elemente, wie Störungen, Klüfte usw. sowie deren Häufigkeit, Orientierung und Länge aufgenommen. Bei den Deformationszonen wurden plastische Verformungen und Bruchzonen ausgehalten. 16 Aufschlüsse in Simpevarp; SKB (2001). Zudem wurden an diesen Messpunkten 333 Klüftfüllungen visuell aufgenommen und dokumentiert. Klüfte und Klüftfüllungen länger als 50 cm wurden an den zwei gereinigten Aufschlüssen detailliert kartiert (SKB, 2006c).

Qualität: 2 Quantität: 3

Quantität: Abschätzung der Stufe 3, da die Kartierung, nach SKB-Vorgabe einheitlich, basierend auf bestehenden Karten durchgeführt und mit anderen Methoden und Messungen abgeglichen wurde, kann davon ausgegangen werden, dass die erarbeiteten Maßstäbe dem Quantitätsstand von 3 entsprechen.

B3.5 Bohrungen

Die Videoaufnahmen der Kernbohrungen werden zur Lokalisierung von Störungen verwendet; SKB (2001)

Informationen aus Kern- und Schlagbohrungen wurden zur Bestimmung der Lage von Deformationszonen im Untergrund genutzt. Ebenso wurde an den Kernen die Lage und Orientierung von Störungen bestimmt; SKB (2006a)

Qualität: 2	Quantität: 2	GWM und Lockergesteinsbohrungen (Spülproben)
Qualität: 3	Quantität: 1	Kernbohrungen
Qualität: 2 - 3	Quantität: 2	Schlagbohrungen mit Videoaufnahme der Bohrlochwand

B3.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B3.7 Feldmessungen - Geochemie****B3.8 Feldmessungen - Geomechanik**

Bewegungen in Deformationszonen wurden mit einer eigens entwickelten GPS basierten Methode im Gelände gemessen; SKB (2006a)

Qualität: 3 Quantität: 3 (beide 3 wg. 3D-Modell)

B3.9 Labor**B3.10 Untertage Geophysik****B3.11 Untertage geol. Kartierung****B3.12 Untertage Bohrungen****B3.13 Untertage In-situ-Messungen****B3.14 Untertage Labor****B4 Mikro-Struktur****B4.1 Fernerkundung****B4.2 Geophysik (übertägig)****B4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

B4.4 Geol. Kartierung

Gesteinsproben von frischen und verwitterten Festgesteinen wurden bei der Geländeaufnahme genommen, um das Mikrogefüge unter dem Binokular zu untersuchen; SKB (2006b)

Qualität: 3 Quantität: 3

Quantität: Abschätzung der Stufe 3, da die Kartierung, nach SKB Vorgabe einheitlich, basierend auf bestehenden Karten durchgeführt und mit anderen Methoden und Messungen abgeglichen wurde, kann davon ausgegangen werden, dass die erarbeiteten Maßstäbe dem Quantitätsstand von 3 entsprechen.

B4.5 Bohrungen**B4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B4.7 Feldmessungen - Geochemie****B4.8 Feldmessungen - Geomechanik****B4.9 Labor**

Mineralogische und chemische Zusammensetzung, Korngrößen, Textur, Struktur sowie petrophysikalische Eigenschaften (mittels Gamma Ray-Spektrometrie) wurden an Proben der Laxemar-Region bestimmt. Eine Überprüfung hinsichtlich der Korrelation zu Ergebnissen der Simpevarp-Region erfolgte ebenfalls (SKB, 2006c).

An Proben von 66 Aufschlüssen der Laxemar-Region wurden Laboruntersuchungen zur Anisotropie der magnetischen Suszeptibilität durchgeführt. Damit lassen sich Beziehungen zu Lineation, Foliation und tektonischen Texturen beschreiben (SKB, 2006c).

Qualität: 3 Quantität: 3

B4.10 Untertage Geophysik**B4.11 Untertage geol. Kartierung****B4.12 Untertage Bohrungen****B4.13 Untertage In-situ-Messungen****B4.14 Untertage Labor****B5 In-situ-Spannungsverhältnisse****B5.1 Fernerkundung****B5.2 Geophysik (übertägig)****B5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B5.4 Geol. Kartierung****B5.5 Bohrungen****B5.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B5.7 Feldmessungen - Geochemie****B5.8 Feldmessungen - Geomechanik**

In mehreren Tiefbohrungen wurden die Spannungsverhältnisse im Laxemar-Teilgebiet gemessen. In der KLX02, KLX04, KSH01 und KSH02 über die 2D-Methode hydraulische Rissbildung (hydraulic fracturing und hydraulic fracturing on preexisting fractures). Im Simpevarp-Teilgebiet wurden die Spannungsverhältnisse in 3 Bohrungen mittels Hydrofrac-Messungen bestimmt. In der Bohrung KAV04 wurde ebenfalls die Überbohrmethode verwendet; SKB (2005).

Nach SKB (2006b) wurden Bohrlochdaten aus gesteinsmechanischer Sicht interpretiert. Die Datengrundlage dazu sind Logging-Daten aus der internen Datenbasis SICADA. Die angewandte Methodologie ist in ANDERSON et al. (2002) beschrieben. Desweiteren wurden Untersuchungen aus der Zeit der Errichtung von CLAB II verwendet, ebenso wie Daten, die im Äspö-URL gewonnen wurden. Konver-

genz- und Spannungsmessungen des Äspö-Pillar-Strength-Experimentes lieferten weitere Daten (SKB, 2006b).

Qualität: 3 Quantität: 3

B5.9 Labor

Um die Festigkeitseigenschaften des intakten Gesteins zu untersuchen, wurden zahlreiche uniaxiale und triaxiale Versuche an Proben durchgeführt, die aus den Bohrungen KSH01A, KSH02A und vorwiegend aus KLX02 und KLX04A stammen. Es handelt sich hauptsächlich um Proben bestehend aus Granit, Monzodiorit, Monzonit, und Diorit. Insgesamt wurden 55 Uniaxialversuche, 31 Triaxialversuche und 102 Brazilantests (zur indirekten Bestimmung der Zugfestigkeit) durchgeführt (SKB 2006b). Entsprechende Angaben zu Festigkeiten (mean values) finden sich in SKB (2006b) und LANARO et al. (2006). Zusätzlich wurden insgesamt 54 Scherversuche und 157 Tilttests an Proben aus den oben genannten Bohrungen realisiert (SKB 2006b).

Qualität: 3 Quantität: 3

B5.10 Untertage Geophysik

B5.11 Untertage geol. Kartierung

B5.12 Untertage Bohrungen

B5.13 Untertage In-situ-Messungen

B5.14 Untertage Labor

B6 Mineralogie

B6.1 Fernerkundung

B6.2 Geophysik (übertägig)

An ausgewählten Aufschlüssen (ca. 80) wurden mittels Gamma Ray-Spektroskopie der Mineralbestand untersucht und geochemische Analysen durchgeführt (SKB 2006c).

B6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

2006 erfolgten in 10 Kernbohrungen des Laxemar-Gebietes geophysikalische Bohrlochmessungen, 8 davon auf einer kleineren Fläche von ca. 0,5 x 1,5 km (S. 8). Parameter: Dichte (Gamma-Gamma); magnetische Suszeptibilität, natürliche Gammastrahlung, fokussierter Widerstand (300 cm), fokussierter Widerstand (140 cm), Schall (P-Wellen), Kaliber Mittelwert, Kaliber 1D, SPR, Fluidwiderstand, Fluidtemperatur. Für alle Bohrlöcher wurden Silikatdichte, magnetische Suszeptibilität, natürliche Gammastrahlung bestimmt, klassifiziert und u.a. der Quarzgehalt abgeleitet.

MATTSSON et al. (2006)

Qualität: 3 Quantität: 3

B6.4 Geol. Kartierung

B6.5 Bohrungen

B6.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B6.7 Feldmessungen - Geochemie

B6.8 Feldmessungen - Geomechanik

B6.9 Labor

Mineralogische und chemische Zusammensetzung, Korngrößen, Textur, Struktur sowie petrophysikalische Eigenschaften (mittels Gamma Ray-Spektrometrie) wurden an Proben der Laxemar-Region bestimmt. Eine Überprüfung hinsichtlich der Korrelation zu Ergebnissen der Simpevarp-Region erfolgte ebenfalls (SKB, 2006c).

Qualität: 3 (konzeptionelles Modell für Standort vorhanden)

Quantität: 3

B6.10 Untertage Geophysik**B6.11 Untertage geol. Kartierung****B6.12 Untertage Bohrungen****B6.13 Untertage In-situ-Messungen****B6.14 Untertage Labor****B7 Petrophysikalische Eigenschaften****B7a Gesteinsmechanik****B7a.1 Fernerkundung****B7a.2 Geophysik (übertägig)****B7a.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7a.4 Geol. Kartierung****B7a.5 Bohrungen****B7a.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7a.7 Feldmessungen - Geochemie****B7a.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7a.9 Labor**

Aus Bohrkernen von 4 Bohrungen wurden Proben entnommen, um geomechanische Kennwerte in Labortests zu bestimmen; SKB (2006a). Es wurden uniaxiale Festigkeiten, Zugfestigkeiten (aus indirekten Versuchen), E-Modul bestimmt sowie Kluftflächen untersucht (Reibungswinkel). Petrophysikalische Daten wie Dichte, magnetische und elektrische Eigenschaften sowie Porosität wurden an 72 Proben unterschiedlicher Gesteinsarten mittels Labormethoden bestimmt (SKB, 2006c).

Qualität: 3

Quantität: 3

B7a.10 Untertage Geophysik**B7a.11 Untertage geol. Kartierung****B7a.12 Untertage Bohrungen****B7a.13 Untertage In-situ-Messungen****B7a.14 Untertage Labor****B7b Hydraulisch (z. B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)****B7b.1 Fernerkundung****B7b.2 Geophysik (übertägig)****B7b.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7b.4 Geol. Kartierung****B7b.5 Bohrungen**

B7b.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B7b.7 Feldmessungen - Geochemie****B7b.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7b.9 Labor**

Die Bohrkerns wurden zur Bestimmung der Porosität und Dichte beprobt; SKB (2006b). Die zahlreichen Messungen zeigen, dass die Porositäten aller untersuchten Gesteine der Laxemar- und Simpevarp-Region kleiner 1% sind, d.h. typisch für unalterierte schwedische Gesteinstypen (SKB, 2006c).

Qualität: 3 Quantität: 3

B7b.10 Untertage Geophysik**B7b.11 Untertage geol. Kartierung****B7b.12 Untertage Bohrungen****B7b.13 Untertage In-situ-Messungen****B7b.14 Untertage Labor****B7c Diffusion****B7c.1 Fernerkundung****B7c.2 Geophysik (übertägig)****B7c.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

Neben anderen Methoden, wurden Messungen des *elektrischen Widerstandes* in Bohrlöchern genutzt, um die Diffusionsparameter der Gesteine zu bestimmen.

SKB (2006d)

Mit Hilfe der Widerstandsdaten aus 2 Bohrlöchern wurden am Bsp. des Ävrö-Granits, für den gebiets-spezifische Daten zur Verfügung standen, verschiedene Aspekte der Diffusionseigenschaften von Gesteinen untersucht, z.B. die Beziehung zwischen Porosität und Formationsfaktor, zwischen Tiefe und Formationsfaktor und zwischen Formationsfaktor von In-situ- und Labormessungen.

SKB (2005a)

Qualität: 1 Quantität: 1

Qualität 1, da Testcharakter.

B7c.4 Geol. Kartierung**B7c.5 Bohrungen****B7c.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7c.7 Feldmessungen - Geochemie****B7c.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7c.9 Labor**

Gesteinsproben wurden genommen, um im Labor die Diffusionsparameter zu bestimmen; SKB (2006b)

Qualität: 3 Quantität: 3

B7c.10 Untertage Geophysik**B7c.11 Untertage geol. Kartierung****B7c.12 Untertage Bohrungen**

B7c.13 Untertage In-situ-Messungen**B7c.14 Untertage Labor****B7d Thermisch****B7d.1 Fernerkundung****B7d.2 Geophysik (übertägig)****B7d.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

Neben Labormessungen und Abschätzungen aus der mineralogischen Zusammensetzung wurden Tests unternommen, um die Wärmeleitfähigkeit aus *Dichtemessungen* im Bohrloch zu bestimmen. Die Gültigkeit dieser Methode ist dabei auf einen bestimmten Gesteinstyp (Ävrö-Granit) beschränkt und nur im Dichteintervall von 2.600 bis 2.850 kg/m³, was einer Wärmeleitfähigkeit von 1,90 bis 3,69 W/(m·K) entspricht, gültig. Ein Vergleich zwischen Labormessungen an Proben und Berechnungen aus *Dichte-Logs* zeigt eine ziemlich große Unsicherheit dieser Methode. Allerdings wurde der Vergleich nur an einer geringen Anzahl von Proben eines schmalen Bohrlochausschnitts durchgeführt.

SKB (2005a)

ohne Bewertung, da Testcharakter

B7d.4 Geol. Kartierung**B7d.5 Bohrungen****B7d.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7d.7 Feldmessungen - Geochemie****B7d.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7d.9 Labor**

Zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit der Gesteine im Labor wurden von den Bohrkernen und an der Geländeoberfläche zahlreiche Proben entnommen und nach der TPS-Methode untersucht (SKB, 2006a). Da ein Zusammenhang zwischen Leitfähigkeit und Dichte besteht, wurden zusätzlich Dichtebestimmungen an Ävrö-Graniten der Laxemar-Region gemacht und interpretiert (SKB, 2006a).

Qualität: 3 Quantität: 3

B7d.10 Untertage Geophysik**B7d.11 Untertage geol. Kartierung****B7d.12 Untertage Bohrungen****B7d.13 Untertage In-situ-Messungen****B7d.14 Untertage Labor****B7e THMC-Kopplung****B7e.1 Fernerkundung****B7e.2 Geophysik (übertägig)****B7e.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7e.4 Geol. Kartierung****B7e.5 Bohrungen****B7e.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7e.7 Feldmessungen - Geochemie****B7e.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7e.9 Labor**

B7e.10 Untertage Geophysik**B7e.11 Untertage geol. Kartierung****B7e.12 Untertage Bohrungen****B7e.13 Untertage In-situ-Messungen****B7e.14 Untertage Labor****B7f Chemische Eigenschaften (z. B. Oxidation, Adsorption)****B7f.1 Fernerkundung****B7f.2 Geophysik (übertägig)****B7f.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7f.4 Geol. Kartierung****B7f.5 Bohrungen****B7f.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7f.7 Feldmessungen - Geochemie****B7f.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7f.9 Labor**

Gesteinsproben wurden genommen, um im Labor die Adsorption zu bestimmen; SKB (2006b)

Qualität: 1 Quantität: 1

B7f.10 Untertage Geophysik**B7f.11 Untertage geol. Kartierung****B7f.12 Untertage Bohrungen****B7f.13 Untertage In-situ-Messungen****B7f.14 Untertage Labor*****C Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)*****C1 Hydraulisch wirksame Einheiten****C1.1 Fernerkundung****C1.2 Geophysik (übertägig)****C1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C1.4 Geol. Kartierung**

Während der geologischen Kartierung wurden Quellen, Fließgewässer, Versickerungsgebiete, Dämme (Staubereiche) und Drainagen sowie vorhandene Brunnen und ihre Nutzungsdaten (z. B. Kapazität, Absenkung usw.) aufgenommen.

SKB (2001)

Qualität: 2 Quantität: 3

Quantität: Abschätzung der Stufe 3, da die Kartierung, nach SKB-Vorgabe einheitlich, basierend auf bestehenden Karten durchgeführt und mit anderen Methoden und Messungen abgeglichen wurde, kann davon ausgegangen werden, dass die erarbeiteten Maßstäbe dem Quantitätsstand von 3 entsprechen.

C1.5 Bohrungen

C1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

In Kernbohrungen erfolgten hydraulische Tests, *Flow-Logging* mit Impeller, Pumptestes mit *Wire Line Probe* (WLP) für absolute Druckmessungen, *Posiva Flow Log* (PFL), Messungen der *elektrischen Leitfähigkeit* (EC), der *Temperatur* der Bohrflüssigkeit und *Single Point-Widerstandsmessungen* (SP). Diese dienen zur Abschätzung der Transmissivitäten bestimmter Bohrlochabschnitte und von Kluftbereichen sowie zur Messung ungestörter Druckverhältnisse, woraus eine Verteilung der Fließraten abgeschätzt wurde. *Posiva Flow Log* (PFL) wurde in allen Bohrlöchern angewendet. Mit *PFL* wurden Bereiche von jeweils 5 m alle 0,5 m abschnittsweise beprobt, um die Transmissivität und Fließbereiche mit einer Auflösung von 0,5 m zu ermitteln. *Flow-anomaly logging* (*PFL-f*) erfolgte mit einer Abschnittslänge von 1 m alle 0,1 m, um die Fließeigenschaften individueller Risse genauer untersuchen zu können. Auf der Basis von Flow-Logs erfolgte eine Auswahl von Gesteinsproben für Laboranalysen der Transporteigenschaften. *Difference-flow-logging* zur Ermittlung leitfähiger Abschnitte und leitfähiger Klüfte im Bohrloch (siehe Tab. 2.4.-2.5.); SKB (2005a)

Qualität: 1 Quantität: 3

C1.7 Feldmessungen - Geochemie**C1.8 Feldmessungen - Geomechanik****C1.9 Labor****C1.10 Untertage Geophysik****C1.11 Untertage geol. Kartierung****C1.12 Untertage Bohrungen****C1.13 Untertage In-situ-Messungen****C1.14 Untertage Labor****C2 Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein****C2.1 Fernerkundung****C2.2 Geophysik (übertägig)****C2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C2.4 Geol. Kartierung****C2.5 Bohrungen****C2.6 Feldmessungen - Geohydraulik***Allgemein:*

Der absolute Porenwasserdruck wurde aufgrund einer Methodenentwicklung während des Bohrens gemessen, dabei wird eine Sonde im Bohrstrang eingesetzt; SKB (2006a)

Im Rahmen des Grundwassermonitorings wurden der Grundwasserspiegel und der Porenwasserdruck der Lockergesteine über längere Zeiträume gemessen. In den 27 verwendeten Lockergesteinsbohrungen wurden keine Packer eingesetzt; SKB (2006a)

Die Flachbohrungen im Lockergestein (orig.: soil drilling) werden zum Monitoring des Grundwasserspiegels genutzt; SKB (2006a)

Qualität: 1 Quantität: 2

In 15 gekernten Tiefbohrungen wurden zum Monitoring des Porenwasserdrucks Tiefenintervalle mit ausdehnbaren Gummi-Packern isoliert. Auf diese Weise können bis zu 10 Intervalle abgepackert werden; SKB (2006a)

In 25 Schlagbohrungen werden zum Monitoring des Porenwasserdrucks Tiefenintervalle mit bis zu 3 ausdehnbaren Gummi-Packern isoliert. Es können somit in 4 Intervallen Messungen durchgeführt werden; SKB (2006a)

Qualität: 3 Quantität: 2

Im Simpevarp-Teilgebiet wurden während des Bohrens pro Bohrung (15) 9 Druckmessungen durchgeführt; SKB (2005)

Qualität: 1 Quantität: 2

C2.7 Feldmessungen - Geochemie

C2.8 Feldmessungen - Geomechanik

C2.9 Labor

C2.10 Untertage Geophysik

C2.11 Untertage geol. Kartierung

C2.12 Untertage Bohrungen

C2.13 Untertage In-situ-Messungen

C2.14 Untertage Labor

C3 Fließ- und Speicherparameter

C3.1 Fernerkundung

C3.2 Geophysik (übertägig)

C3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

2006 erfolgten in 10 Kernbohrungen des Laxemar-Gebietes geophysikalische Bohrlochmessungen, 8 davon auf einer kleineren Fläche von ca. 0,5 x 1,5 km (S. 8). siehe B1.3. Parameter: Dichte (Gamma-Gamma); magnetische Suszeptibilität, natürliche Gammastrahlung, fokussierter Widerstand (300 cm), fokussierter Widerstand (140 cm), Schall (P-Wellen), Kaliber Mittelwert, Kaliber 1D, SPR, Fluidwiderstand, Fluidtemperatur. Dichtemessungen und magnetische Suszeptibilitätsdaten wurden mit petrophysikalischen Daten der Bohrkerne kalibriert.

Die Abschätzung der Interpretationsergebnisse Salinität und scheinbare Porosität, welche aus den *elektrischen Widerstandsmessungen* berechnet werden, sind ein Hilfsmittel zur Identifizierung salinen Grundwassers sowie der Gesteinsporosität und erlauben Rückschlüsse auf die Salinität der Bohrflüssigkeit und die Transporteigenschaften des Gesteins im Umfeld des Bohrlochs.

MATTSSON et al. (2006)

Qualität: 3 Quantität: 3

C3.4 Geol. Kartierung

C3.5 Bohrungen

C3.6 Feldmessungen - Geohydraulik

Im nördlichen Teil der Deformationszone NS059 wurden Bohrloch- und Interferenztests zwischen zwei Schlagbohrungen durchgeführt; SKB (2006a)

Qualität: 3 Quantität: 1

Einbohrloch-Pumpversuche wurden üblicherweise über die gesamte Bohrlochtiefe durchgeführt, um den konstanten Durchfluss zu messen. In einfach abgepackten Testintervallen, mit unterschiedlicher Länge, wurde der konstante Durchfluss gemessen; in der instationären Phase wurden der Durchfluss, die Absenkung des Grundwasserspiegels und die elektr. Leitfähigkeit aufgezeichnet. Die Pumpzeit betrug ca. 24 Stunden und die anschließende Wiederanstiegsphase ca. 12 Stunden; SKB (2001)

Qualität: 2 Quantität: 2

Bei den Injektionstests wurden Intervalle von 5 und 20 m mit Packern isoliert. Für die 5 m Intervalle beträgt die Injektionszeit ca. 15 Minuten und die Druckausgleichsphase ca. 10 Minuten. Für die 20 m Intervalle beträgt die Injektionszeit ca. 30 Minuten und die Druckausgleichsphase ca. 20 Minuten; SKB (2001)

Alle Kernbohrungen wurden zur Ermittlung von hydraulischen Kennwerten genutzt; SKB (2006a)

Die hydraulische Leitfähigkeit des Festgesteins wurde in allen Kernbohrungen, nach deren Fertigstellung, direkt über hydraulische Injektionstests und Differenz Flow-Logging (difference flow logging) gemessen. Außerdem wurden Pumpversuche und Interferenztests durchgeführt. Bei den Interferenztests wurde in Intervallen, die durch zwei Packer isoliert wurden oder in der gesamten Bohrung gemessen. Die Pumpzeit betrug ca. 72 Stunden und die gemessene Wiederanstiegsphase 24 Stunden; SKB (2001 & 2006a)

Pumpversuche wurden in Tiefbohrungen auch alle 100 m während des Bohrens durchgeführt. Im Bereich von Störungzonen wurde das Intervall nach Bedarf verkürzt; SKB (2006a)

Im Teilgebiet Simpevarp wurden während des Bohrens 11 Pumptests ausgeführt, von denen 9 interpretierbare Transmissivitäten ergaben; SKB (2005)

Für hydraulische Messungen wurden das Posiva Flow Log Messsystem und Injektionstests mit dem Pipe String System in den Kernbohrungen genutzt. Diese Methoden lieferten qualitativ gute und vergleichbare Ergebnisse; SKB (2006a)

Der Grundwasserfluss durch die abgepackten Intervalle in den Tiefbohrungen wird durch die Zugabe eines Tracers bestimmt. Gemessen wird seine Verdünnung über die Zeit; SKB (2006a)

Das Posiva Flow Log-System wurde genutzt, um sehr geringe Durchflussraten in Störungzonen zu messen, dabei wurde in abgepackten Bereichen ein Tracer eingesetzt, der nicht absorbiert wird. Die Methode wurde in den Bohrungen KLX02 (in 2 Intervallen) und KSH02 (in 5 Intervallen) eingesetzt; SKB (2006b)

Qualität: 3 Quantität: 2

C3.7 Feldmessungen - Geochemie

C3.8 Feldmessungen - Geomechanik

C3.9 Labor

C3.10 Untertage Geophysik

C3.11 Untertage geol. Kartierung

C3.12 Untertage Bohrungen

C3.13 Untertage In-situ-Messungen

C3.14 Untertage Labor

C4 Zwei-Phasenflussparameter

C4.1 Fernerkundung

C4.2 Geophysik (übertägig)

C4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

C4.4 Geol. Kartierung

C4.5 Bohrungen

C4.6 Feldmessungen - Geohydraulik

C4.7 Feldmessungen - Geochemie

C4.8 Feldmessungen - Geomechanik

C4.9 Labor

C4.10 Untertage Geophysik

C4.11 Untertage geol. Kartierung

C4.12 Untertage Bohrungen

C4.13 Untertage In-situ-Messungen

C4.14 Untertage Labor***D Hydrochemie*****D1 Wasseralter (isotopengeochmische Charakterisierung)****D1.1 Fernerkundung****D1.2 Geophysik (übertägig)****D1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D1.4 Geol. Kartierung****D1.5 Bohrungen****D1.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D1.7 Feldmessungen - Geochemie****D1.8 Feldmessungen - Geomechanik****D1.9 Labor**

Isotopenanalyse Grundwasserproben von Bohrungen HSH/HLX und KSH/KLX: BATH, A. (2006), LAAKSOHARJU et al. (1995), LAAKSOHARJU et al. (2004b), SKB (2004) , SKB (2006e), WACKER, P & BERG, C (2004), WACKER et al.(2004)

^{14}C	Qualität: 3	Quantität: 1
$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ und $^2\text{H}/^1\text{H}$	Qualität: 3	Quantität: 1
^3H	Qualität: 3	Quantität: 2

D1.10 Untertage Geophysik**D1.11 Untertage geol. Kartierung****D1.12 Untertage Bohrungen****D1.13 Untertage In-situ-Messungen****D1.14 Untertage Labor****D2 Porenwasserchemismus****D2.1 Fernerkundung****D2.2 Geophysik (übertägig)****D2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

Aus *Widerstandsmessungen* im Bohrloch (siehe B1.3) sind die Interpretationsergebnisse Salinität und scheinbare Porosität abschätzbar, welche u.a. als Hilfsmittel zur Identifizierung salinaren Grundwassers dienen können.

MATTSSON et al. (2006)

Qualität: 2 Quantität: 2

D2.4 Geol. Kartierung**D2.5 Bohrungen****D2.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

D2.7 Feldmessungen - Geochemie

Elektrische Leitfähigkeit, Eh, pH sowie gelöster Sauerstoff wurden in Bohrlöchern mit dem CHEMMAC-Werkzeug sowie für abgepumptes Grundwasser in Durchflussszellen an der Oberfläche gemessen; SKB (2006e), WACKER et al. (2004)

Qualität: 3 Quantität: 1

D2.8 Feldmessungen - Geomechanik**D2.9 Labor***Allgemein:*

Das gepumpte Wasser aus den Tiefbohrungen wird vor Ort in ein mobiles Labor geleitet, wo Proben genommen und eigene Analysen gemacht werden; SKB (2001)

In den ausgebauten Tiefbohrungen werden zum Monitoring des Porenwasserdrucks Tiefenintervalle mit ausdehnbaren Gummi-Packern isoliert. Auf diese Weise können bis zu 10 Intervalle abgepackert werden, in denen auch Wasserproben für Analysen genommen werden können; SKB (2006a)

Die Flachbohrungen im Lockergestein (soil drilling) werden neben dem Monitoring des Grundwasserspiegels zur Beprobung genutzt; SKB (2006a)

Die Probennahmekampagne für Laboranalysen von oberflächennahen Grundwässern in Simpevarp wurde im Juni 2005 in 10 Lockergesteinsbohrungen abgeschlossen. Etwa ein Jahr später startete die Beprobung in 23 Lockergesteinsbohrungen in Laxemar, die vermutlich im Sommer 2006 abgeschlossen sein wird (nach Berichtfertigstellung); SKB (2006a)

Beprobung zur Analyse des Grundwassers:

HSH und HLX (Schlagbohrungen): 22 Proben, wovon 17 als zuverlässig bewertet wurden;

KSH und KLX (Kernbohrungen): 176 Proben, wovon 46 von 42 Intervallen als zuverlässig betrachtet wurden (nur für KSH01 bis KSH03 bzw. KLX01 bis KLX12 - Informationen zu neuerer Beprobung steht noch nicht zur Verfügung); SKB (2004, 2006d), BERG & WACKER (2006), LAAKSOHARJU et al. (1995), LAAKSOHARJU et al (2004b), WACKER & Berg (2004), WACKER et al. (2004)

Analysen:

redoxempfindliche Substanzen:	Qualität: 3	Quantität: 1
gelöste Hauptsubstanzen:	Qualität: 3	Quantität: 1
Spurenelemente:	Qualität: 3	Quantität: 1
Mikroben:	Qualität: 3	Quantität: 1
Kolloide:	Qualität: 3	Quantität: 1
gelöste Gase:	Qualität: 3	Quantität: 1
U- und Th-Isotope:	Qualität: 1	Quantität: 1

D2.10 Untertage Geophysik**D2.11 Untertage geol. Kartierung****D2.12 Untertage Bohrungen****D2.13 Untertage In-situ-Messungen****D2.14 Untertage Labor****D3 Transporteigenschaften****D3.1 Fernerkundung****D3.2 Geophysik (übertägig)****D3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

D3.4 Geol. Kartierung**D3.5 Bohrungen****D3.6 Feldmessungen – Geohydraulik**

Die geohydraulischen Tests werden auch zur Bestimmung der Transporteigenschaften durchgeführt; SKB (2001)

Qualität: ? Quantität: ?

D3.7 Feldmessungen - Geochemie**D3.8 Feldmessungen - Geomechanik****D3.9 Labor**

Bohrkerne und Gesteins- und Wasserproben (^{222}Rn -Analysen) werden für die Bestimmung der Transporteigenschaften genutzt; SKB (2001)

Qualität: ? Quantität: ?

D3.10 Untertage Geophysik**D3.11 Untertage geol. Kartierung****D3.12 Untertage Bohrungen****D3.13 Untertage In-situ-Messungen****D3.14 Untertage Labor****D4 Kolloide usw.****D4.1 Fernerkundung****D4.2 Geophysik (übertägig)****D4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D4.4 Geol. Kartierung****D4.5 Bohrungen****D4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D4.7 Feldmessungen - Geochemie****D4.8 Feldmessungen - Geomechanik****D4.9 Labor**

Das gepumpte Wasser aus den Tiefbohrungen wird vor Ort in ein mobiles Labor geleitet, wo Proben genommen und vollständige Analysen gemacht werden können, dabei werden auch Proben für Kolloidanalysen genommen; SKB (2001)

Qualität: ? Quantität: ?

D4.10 Untertage Geophysik**D4.11 Untertage geol. Kartierung****D4.12 Untertage Bohrungen****D4.13 Untertage In-situ-Messungen****D4.14 Untertage Labor**

ZITATE

(Die mit * gekennzeichneten Zitate befinden sich auf dem beiliegenden Datenträger; SKB-Berichte können von der SKB-Webseite heruntergeladen werden.)

- *BATH, A. (2006): Geochemical investigations of groundwater stability. SKI Report 06-12. Swedish Nuclear Power Inspectorate, Stockholm.
- *BATH, A. & HERMANSSON, H.-P. (2007): Variability and uncertainties of key hydrochemical parameters for SKB sites. SKI Report 2007-03. Swedish Nuclear Power Inspectorate, Stockholm.
- BERG, C. & WACKER, P. (2006): Water sampling in KLX04 and KLX06. Summary of analyses from water sampling during pumping with the Pipe String System. SKB Report P-05-271.
- BERGLUND, J., NYBORG, M. (Swedpower AB), TRIUMF, C.-A. & THUNEHED, H. (GeoVista AB), (2006): Coordinated presentation of topographic and geophysical lineaments in selected areas, including field assessment – Laxemar area: Oskarshamn site investigation SKB P-06-15, 36 p.
- JOHANSSON, R. (Sveriges Geologiska Undersökning), (2006): A comparison of two independent interpretations of lineaments from geophysical and topographic data from the Simpevarp area, SKB Rapport R-06-53, 31 p.
- JUHLIN, C. (Uppsala University), (2003): Evaluation of RAMBØLL reflection seismic surveys on Simpevarpshlvön 2003 using the vibroseismic method. Oskarshamn site investigation SKB P-03-72.
- JUHLIN, C., BERGMAN, B. & PALM, H. (Uppsala University), (2004): Reflection seismic studies performed in the Laxemar area during 2004: Oskarshamn site investigation SKB P-04-215.
- LAAKSOHARJU, M., SMELLIE, J., NILSSON, A.-C. & SKÄRMAN, C. (1995): Groundwater sampling and chemical characterisation of the Laxemar deep borehole KLX02, SKB Technical Report TR-95-05.
- LAAKSOHARJU, M., GIMENO, M., AUGQUÉ, L., GÓMEZ, J., SMELLIE, J., TULLBORG, E.-L. & GURBAN, I. (2004b): Hydrogeochemical evaluation of the Simpevarp site model version 1.1. Report R-04-16. SKB, Stockholm.
- LANARO, F., ÖHMAN, J. & FREDRIKSSON, A. (2006): Rock mechanics modelling of rock mass properties – Summary of primary data, Preliminary site description, Laxemar subarea – version 1.2. SKB R-06-15, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- LINDROOS, H. (MIRAB Mineral Resurser AB), (2004): The potential for ore, industrial minerals and commercial stones in the Simpevarp area, SKB Rapport R-04-72, 48 p.
- LINDQVIST, G. (2004): Refraction seismic measurements in Laxemar: Oskarshamn site investigation, SKB P-04-134.
- MATTSSON, H., KEISU, M. & THUNEHED, M. (GeoVista AB), (2006): Interpretation of geophysical borehole measurements from KLX13A, KLX14A, KLX22A, KLX22B, KLX23A, KLX23B, KLX24A, KLX25A, KLX26A and KLX26B: Oskarshamn site investigation SKB P-06-317, 45 p.
- NYBORG, M. (SwedPower AB), (2005): Aerial photography and airborne laser scanning Laxemar – Simpevarp, The 2005 campaign: Oskarshamn site investigation SKB P-05-223, 43 p.
- RØNNING, H. J. S., KIHLE, O., MOGAARD, J. O. (NGU) & WALKER, P. (Geophysical Algorithms, Canada), (2003): Helicopter borne geophysics at Simpevarp, Oskarshamn, Sweden: Simpevarp site investigation SKB P-03-25, 81 p.
- SKB (2001): Site investigations. Investigation methods and general execution programme. SKB Rapport TR-01-29, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB (2004): Hydrogeochemical evaluation for Simpevarp model version 1.2 – Preliminary site description of the Simpevarp area. Report R-04-74. SKB, Stockholm.
- SKB (2005a): Preliminary site description. Simpevarp subarea – version 1.2, SKB Rapport R-05-08, 580 p., Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB (2005b): Technical preliminary safety evaluation for the Simpevarp subarea based on data and site descriptions after the initial site investigation stage, Technical Report TR-05-12, 71 p., Svensk Kärnbränslehantering AB.

- SKB (2006a): Oskarshamn site investigation. Programme for further investigations of bedrock, soil, water and environment in Laxemar subarea. SKB Rapport R-06-29, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB (2006b): Preliminary site description. Laxemar subarea – version 1.2. SKB Rapport R-06-10, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB (2006c): Geological description of rock domains and deformation zones in the Simpevarp and Laxemar subareas. Preliminary site description. Laxemar subarea – version 1.2. SKB Rapport R-05-69, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB (2006d): Site Investigation Oskarshamn: Annual Report 2006, 111 p.
- SKB (2006e): Hydrogeochemical evaluation. Preliminary site description Laxemar subarea – version 1.2, SKB Report R-06-12.
- THUNEHED, H. & TRIUMF, C.-A. (GeoVista AB), (2005): Detailed ground geophysical survey at Laxemar, Magnetic total field and resistivity: Oskarshamn site investigation SKB P-05-188, 34 p.
- THUNEHED, H. & TRIUMF, C.-A. (GeoVista AB), (2006): Detailed ground geophysics at Laxemar, autumn/winter 2005/2006, Magnetic total field and resistivity: Oskarshamn site investigation SKB P-06-137, 53 p.
- THUNEHED, H., TRIUMF, C.-A. & PITKÄNEN, T. (GeoVista AB), (2004): Geophysical profile measurements over interpreted lineaments in the Laxemar area: Oskarshamn site investigation SKB P-04-211, 33 p.
- TRIUMF, C.-A., THUNEHED, H. (GeoVista AB), KERO, L. & PERSSON, L. (Sveriges Geologiska Undersökning), (2003): Interpretation of airborne geophysical survey data, Helicopter borne survey data of gamma ray spectrometry, magnetics and EM from 2002 and fixed wing airborne survey data of the VLF-field from 1986: Oskarshamn site investigation SKB P-03-100, 104 p.
- TRIUMF, C.-A. (GeoVista AB), (2004a): Gravity measurements in the Laxemar model area with surroundings: Oskarshamn site investigation SKB P-04-128, 34 p.
- VANGKILDE-PEDERSEN, T. (Rambøll), (2003): Reflection seismic surveys on Simpevarpshalvön 2003 using the vibroseismic method. Oskarshamn site investigation SKB P-03-71.
- WABER, N & SMELLIE, J (2004) Borehole KSH02: Characterisation of matrix pore water (Feasibility Study). SKB Report P-04-249.
- WABER, H. N. & SMELLIE, J. A. T. (2006a): Borehole KLX03: Characterisation of pore water. Part 1: Methodology and analytical data. SKB Report P-06-12.
- WABER, H. N. & SMELLIE, J. A. T. (2006b): Borehole KLX03: Characterisation of pore water – Part 2: Rock properties and diffusion experiments. SKB Report P-06-77.
- WACKER, P. & BERG, C. (2004): Water sampling in KSH02A – Summary of water sampling analysis in connection with Pipe String System (PSS) and Single Well Injection Withdrawal (SWIW) measurements. SKB Report P-04-281.
- Wacker, P., Berg, C. & Bergelin, A. (2004): Complete hydrochemical characterisation in KSH01A – Results from four investigated sections, 156.0-167.0, 245.0-261.6, 586.0-596.7 and 548.0-565.4 m. SKB Report P-04-12.

OSKARSHAMN		Erkundungs- methoden: 1-9 übertägig 10-14 untertägig	Fernerkundung	Geophysik (übertägig)	Geophysik (im Bohrloch)	Geol. Kartierung	Bohrungen	Feldmessungen - Geohydraulik	Feldmessungen - Geochemie	Feldmessungen - Geomechanik	Labor	Geophysik	geologische Kartierung	Bohrungen	In-situ- Messungen	Labor
Inhalte der Themenkomplexe	Bezeichnungen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Regionale Geologie (20 km*20 km)																
Wirtsgestein / Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)	A1															
Stratigraphie	A2															
Strukturgeologie und Tektonik (Störungsmuster, Faltung)	A3															
Regionales Spannungsfeld	A4															
Temperatur und Wärmeleitfähigkeit	A5															
Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z.B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)	A6															
Rohstoffvorkommen	A7															
Eigenschaften des Wirtsgesteins und des Deckgebirges am Standort																
Lithologie	B1															
Geometrie (Tiefenlage, Ausdehnung)	B2															
Makro-Struktur (Großgefüge: Störungen / Faltungen / Deformationen / Klüfte)	B3															
Mikro-Struktur (Korngefüge / Porenstruktur)	B4															
In-situ-Spannungsverhältnisse	B5															
Mineralogie	B6															
Petrophysikalische Eigenschaften (Probenmaßstab):																
Gesteinsmechanik (z.B. Festigkeit, Kriechen)	B7a															
Hydraulik (z.B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)	B7b															
Diffusion	B7c															
Thermik	B7d															
THMC-Kopplung	B7e															
Chemismus (z.B. Oxidation, Adsorption)	B7f															
Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)																
Hydraulisch wirksame Einheiten	C1															
Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein	C2															
Fließ- und Speicherparameter	C3															
Zwei-Phasenfluss-Parameter	C4															
Hydrochemie																
Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)	D1															
Porenwasserchemismus	D2															
Transporteigenschaften	D3															
Kolloide usw.	D4															
			Erkundungsaktivität													
			Erkundungsaktivität ohne eine Bewertung bzgl. der Qualitäts- bzw. Quantitätskategorien													

Erkundungsaktivität

Erkundungsaktivität ohne eine Bewertung bzgl. der Qualitäts- bzw. Quantitätskategorien

Standort:	Sellafield (Großbritannien)
Name - Typ:	Untersuchungsstandort
Lage:	NW-Großbritannien in der englischen Grafschaft Cumbria
Betreiber:	zum Zeitpunkt der Erkundungen war NIREX verantwortlich
Fläche:	Die Erkundungsmaßnahmen sind auf folgende Gebiete begrenzt: Region (ca. 60 x 65 km) District (ca. 20 x 30 km) Site - 'Potential Repository Zone' (PRZ) (ca. 6,5 x 8 km)
Erschließung/ Teufenlage:	Die Zielformation der Erkundungen war die Borrowdale Volcanic Group (BVG); 19 tiefe Bohrungen wurden bis max. 1.950 m innerhalb der PRZ abgeteuft.
Geologie:	<p>Der Standort Sellafield befindet sich in einer Übergangszone (struktur-geologisch) zwischen dem westlichen Rand des kristallinen Massivs Lake District und dem östlichen Rand des marinen East Irish Sea-Sedimentbeckens. Das regionale Hauptstrukturelement ist die Lake District Boundary Fault-Zone, die den östlichen Rand des East Irish Sea-Beckens markiert.</p> <p>Das Fundamentgestein ist die Borrowdale Volcanic Group (BVG), die hauptsächlich aus metamorphosiertem ordovizischem Ignimbrit besteht. Die BVG weist wasserführende Klüfte auf.</p> <p>Den größten Teil des Fundamentgesteins überdecken Sedimentgesteine, hauptsächlich Grundwasserleiter der triassischen Sherwood Sandstone Group (SSG). Im Zentralteil beträgt die Mächtigkeit des Sedimentgesteins etwa 500 m. Die tiefste Sedimenteinheit ist eine permische Breccie.</p> <p>Innerhalb des Untersuchungsraumes fällt die Oberfläche des Fundamentgesteins von einem Ausbiss im Nordosten in einer Höhe von 160 m über dem Meeresspiegel bis über 1.750 m unterhalb des Meeresspiegels in der südwestlichen Ecke. In Richtung Küste sind die Sedimentschichten vollständiger vorhanden. Dort liegen unkonform Karbonschichten, hauptsächlich Kalkstein, die mit Perm-Evaporiten und triassischen Sandsteinen überdeckt sind. Ausbisse des Festgesteins sind sowohl an der Küste als auch im Hochlandgebiet vorhanden.</p> <p>Quartäre Kaltzeitsedimente sind an der Oberfläche weit verbreitet und erreichen eine Mächtigkeit von bis zu 100 m.</p>
Historie:	1989 bis 1997 fanden von NIREX veranlasste geologische Untersuchungen zur Feststellung der Eignung des Standortes als tiefes Endlager statt. Nach der Ablehnung der Planungsgenehmigung für den Bau eines Untertagelabors (Rock Characterisation Facility) am Standort Sellafield wurden die Untersuchungen reduziert und die Bohrungen im Jahr 2000 versiegelt.

Sellafield, EnglandINFO:

1989 bis 1997 von NIREX veranlasste geologische Untersuchungen zur Feststellung der Eignung des Standortes als tiefes Endlager. Nach der Ablehnung der Planungsgenehmigung für den Bau eines Untertagelabors (Rock Characterisation Facility) am Standort Sellafield wurden die Untersuchungen reduziert und die Bohrungen im Jahr 2000 versiegelt.

Die Erkundungsmaßnahmen sind in folgende Gebiete gegliedert:

Region (ca. 60 x 65 km): Nutzung vorhandener Informationen

District (ca. 20 x 30 km): neue geologische, geophysikalische und hydrogeologische Untersuchungen

Site (ca. 6,5 x 8 km): tiefe Bohrungen und Bohrlochmessungen

PRZ (Potential Repository Zone - mögliche Endlager-Zone): Erkundungen in einem Untertagelabor (Rock Characterisation Facility)

Die Arbeiten sind in insgesamt ca. 1.600 Berichten dokumentiert. Folgende Datenbanken wurden angelegt:

- Nirex Digital Geoscience Database
- Nirex Groundwater Database (Hydrochemie)
- Long-Term Monitoring Systems Database (Grundwassermonitoring)
- WIMTEC Database (Hydrochemie, Analytik)
- Magnetic Tape Archive (Geophysik, Bohrlochmessungen)
- 3D Modelling Data (Geologische Modelle)

A Regionale Geologie (20 km x 20 km)**A1 Wirtsgestein/Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)****A1.1 Fernerkundung****A1.2 Geophysik (übertägig)**

Geophysikalische Messungen (siehe A3.2)

Qualität: 2 Quantität: 2

Qualität: 2 Quantität: 3

Qualität: 2 Quantität: 2

Qualität: 2 Quantität: 3

Qualität: 2 Quantität: 3

A1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**A1.4 Geol. Kartierung**

Geologische Karte der Geländeoberfläche:

Region (ca. 60 x 65 km): 1 : 200.000 inklusive Meeresboden

District (ca. 20 x 30 km): 1 : 100.000 inklusive Meeresboden

Geologische Karte mit abgedecktem Quartär:

Region (ca. 60 x 65 km): 1 : 200.000 inklusive Meeresbereich

District (ca. 20 x 30 km): 1 : 100.000 inklusive Meeresbereich

Reliefkarte der Festgesteinsoberfläche:

Region (ca. 60 x 65 km): 1 : 200.000 inklusive Meeresbereich

District (ca. 20 x 30 km): 1 : 100.000 inklusive Meeresbereich

Strukturreliefkarten:

Region (ca. 60 x 65 km): Karten im Maßstab 1 : 200.000 an der Basis von verschiedenen geologischen Einheiten

District (ca. 20 x 30 km): Karten im Maßstab 1 : 100.000 an der Basis von verschiedenen geologischen Einheiten

Mächtigkeitskarten der quartären Bedeckung:

Region (ca. 60 x 65 km): Reliefkarten im Maßstab 1 : 200.000

District (ca. 20 x 30 km): Reliefkarten im Maßstab 1 : 100.000

Alle Karten wurden vom British Geological Survey für die NIREX erstellt. Die Karten im Bereich der Region basieren auf vorhandenen Karten; im Bereich des District wurden Kartierungen vor Ort durchgeführt.

BGS (1998)

Qualität: 3 Quantität: 2

A1.5 Bohrungen**A1.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A1.7 Feldmessungen - Geochemie****A1.8 Feldmessungen - Geomechanik****A1.9 Labor****A1.10 Untertage Geophysik****A1.11 Untertage geol. Kartierung****A1.12 Untertage Bohrungen****A1.13 Untertage In-situ-Messungen****A1.14 Untertage Labor****A2 Stratigraphie****A2.1 Fernerkundung****A2.2 Geophysik (übertägig)****A2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A2.4 Geol. Kartierung**

Bei den Kartierungen wurde ebenfalls die Stratigraphie aufgenommen.

Geologische Karte der Geländeoberfläche:

Region (ca. 60 x 65 km): 1 : 200.000 inklusive Meeresboden

District (ca. 20 x 30 km): 1 : 100.000 inklusive Meeresboden

Geologische Karte mit abgedecktem Quartär:

Region (ca. 60 x 65 km): 1 : 200.000 inklusive Meeresbereich

District (ca. 20 x 30 km): 1 : 100.000 inklusive Meeresbereich

Struktureliefkarten:

Region (ca. 60 x 65 km):	Karten im Maßstab 1 : 200.000 an der Basis von verschiedenen geologischen Einheiten
District (ca. 20 x 30 km):	Karten im Maßstab 1 : 100.000 an der Basis von verschiedenen geologischen Einheiten

Mächtigkeitskarten der quartären Bedeckung:

Region (ca. 60 x 65 km):	Reliefkarten im Maßstab 1 : 200.000
District (ca. 20 x 30 km):	Reliefkarten im Maßstab 1 : 100.000

Alle Karten wurden vom British Geological Survey für die Nirex erstellt. Die Karten im Bereich der Region basieren auf vorhandenen Karten; im Bereich des District wurden Kartierungen vor Ort durchgeführt.

BGS (1998)

Qualität: 3 Quantität: 2

A2.5 Bohrungen**A2.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A2.7 Feldmessungen - Geochemie****A2.8 Feldmessungen - Geomechanik****A2.9 Labor****A2.10 Untertage Geophysik****A2.11 Untertage geol. Kartierung****A2.12 Untertage Bohrungen****A2.13 Untertage In-situ-Messungen****A2.14 Untertage Labor****A3 Strukturgeologie und Tektonik****A3.1 Fernerkundung**

Luftbild- und Satellitenaufnahmen wurden untersucht, um lineare Elemente zu erkennen, die auf geologische Strukturen hinweisen.

in CHAPLOW (2002) [...\html\discontinuity_studies.html] Verweis auf Nirex Report No. 269 (liegt nicht vor)

Bewertung aufgrund fehlender Literatur nicht möglich.

A3.2 Geophysik (übertägig)

Geophysikalische Messungen (gilt analog auch für A1.2, B1.2, B2.2, B3.2):

Seismik:*2D Reflexionsseismik:*

Onshore, Offshore, Transition-Zone

Dabei wurden ca. 1.500 km kommerzielle 2D-Reflexionsseismik angekauft.

NIREX (1997a)

in CHAPLOW, R. (2002) [...\html\regional_factual_reports.html] Verweis auf Nirex Reports No. 110, 145 (liegen nicht vor)

3D-Seismik:

Testmessungen mit Vibroseis auf einer Fläche von ca. 1 km² innerhalb der PRZ.

in CHAPLOW. (2002) [...html\3d_seismic_survey.html] Verweis auf Nirex Reports No. 622, 760, SA/97/020, SA/97/021, SA/97/034 (liegen nicht vor)

Zur Erstellung eines 3D-Modells der Gesteinseigenschaften wurden die Bohrerergebnisse mit seismischen Attributen aus der 3D-Seismik korreliert. Eine sichere Korrelation der erbohrten Störungen mit den Ergebnissen der 3D-Seismik war allerdings nicht möglich, da die aus der Seismik interpretierten Störungen in geringeren Tiefen liegen. Zur Unterstützung der Zuordnung von Reflexionen und erbohrten Schichtgrenzen wurden synthetische Seismogramme aus den Bohrlochmessungen (Dichte und P-Wellengeschwindigkeit) berechnet. Die auftretenden Störungen wurden hinsichtlich ihrer Reflektivität klassifiziert und es wurde versucht, sie in den Seismogrammen wiederzufinden. Mögliche Unsicherheiten dieser Vorgehensweise sind: Fehlinterpretation der Seismik, falsche Korrelation zwischen Seismik und Bohrlochdaten und ungenaue Zeit-Tiefenwandlung.

NIREX (1997b), NIREX (1997c)

Qualität: 2 Quantität: 2

Qualität 2, da 2D-Seismik zu einem großen Teil alte Daten sind und die 3D-Seismik für die Aufgabenstellung nicht immer die gewünschten Ergebnisse liefern konnte.

Magnetik:

- high level airborne data, Helikopter, 300 m (d.h. ca. 100 m über Grund) und einige wenige Profile, 800 m barometrische Höhe, Scintrex Cäsium-Dampf-Magnetometer
- low level airborne data, Helikopter, Flughöhe ca. 130 m über Grund, Scintrex Cäsium-Dampf-Magnetometer 30 m unter Helikopter
- magnetisches Totalfeld (aus Airborne Daten, Variationskorrekturen, Levelling und Entfernung des Internationalen Geomagnetischen Referenzfeldes (1985), Gitterintervall 0,05 km), 200 m Linienabstand in NE-SW-Richtung, 400 m (Anpass)linienabstand in NW-SE-Richtung
- Berechnung der ersten horizontalen Ableitung des magnetischen Totalfeldes

BRITISH GEOLOGICAL SURVEY (BGS) (1998)

Qualität: 2 Quantität: 3

Gravimetrie:

Die Messungen erfolgten on- und offshore:

- Bouguer-Anomalie (Reduktionsdichte 2,70 mg/m³, Geodetic Reference System 1967, National Gravity Reference Net 1973, Geländekorrektur bis Hammer-Zone M (21,94 km), offshore-Daten ohne Geländekorrektur, 0,05 km Gitterintervall)
- Lokalfeldberechnung über Entfernung eines regionalen Anteils, der mit Hilfe einer polynomialen Regression 3. Ordnung ermittelt wurde
- Berechnung der ersten horizontalen Ableitung des Lokalfeldes

BRITISH GEOLOGICAL SURVEY (BGS) (1998)

Qualität: 2 Quantität: 2

Quantität wurde auf 2 gesetzt, da keine Angaben zur Punktdichte vorliegen. Das Gitterintervall der Geländekorrektur könnte auch auf Punktabstände < 500 m hindeuten und damit auf Quantität 3.

Geoelektrik/EM:

- VLF-EM System abgestimmt auf NAA (24,0 kHz) und GBR (16,0 kHz) Transmitter 15 m unterhalb Helikopter
- EM-Stationen auf Land (TEM, MT, CSAMT, VLF-EM)

BRITISH GEOLOGICAL SURVEY (BGS) (1998)

Qualität: 2 Quantität: 3

Radiometrie:

- Exploranium GR-820 Gamma-Spektrometer im Helikopter

BRITISH GEOLOGICAL SURVEY (BGS) (1998)

Qualität: 2 Quantität: 3

A3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Am Standort wurden folgende Messungen durchgeführt:

- VSP
- Cross-hole Tomography
- Bohrlochgeophysik

NIREX (1997b), NIREX (1997c)

Eine Bewertung ist nicht möglich, da nähere Angaben fehlen.

A3.4 Geol. Kartierung

Tektonische Karten:

Region (ca. 60 x 65 km): Karte im Maßstab 1 : 200.000

District (ca. 20 x 30 km): Karte im Maßstab 1 : 100.000

Alle Karten wurden vom British Geological Survey für die NIREX erstellt. Die Karten im Bereich der Region basieren auf vorhandenen Karten; im Bereich des District wurden Kartierungen vor Ort durchgeführt; BGS (1998)

Qualität: 3 Quantität: 2

A3.5 Bohrungen**A3.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A3.7 Feldmessungen - Geochemie****A3.8 Feldmessungen - Geomechanik****A3.9 Labor****A3.10 Untertage Geophysik****A3.11 Untertage geol. Kartierung****A3.12 Untertage Bohrungen****A3.13 Untertage In-situ-Messungen****A3.14 Untertage Labor****A4 Regionales Spannungsfeld****A4.1 Fernerkundung****A4.2 Geophysik (übertägig)****A4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A4.4 Geol. Kartierung****A4.5 Bohrungen****A4.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

A4.7 Feldmessungen - Geochemie**A4.8 Feldmessungen - Geomechanik****A4.9 Labor****A4.10 Untertage Geophysik****A4.11 Untertage geol. Kartierung****A4.12 Untertage Bohrungen****A4.13 Untertage In-situ-Messungen****A4.14 Untertage Labor****A5 Temperatur und Wärmeleitfähigkeit****A5.1 Fernerkundung****A5.2 Geophysik (übertägig)****A5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A5.4 Geol. Kartierung****A5.5 Bohrungen****A5.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A5.7 Feldmessungen - Geochemie****A5.8 Feldmessungen - Geomechanik****A5.9 Labor****A5.10 Untertage Geophysik****A5.11 Untertage geol. Kartierung****A5.12 Untertage Bohrungen****A5.13 Untertage In-situ-Messungen****A5.14 Untertage Labor****A6 Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z. B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)****A6.1 Fernerkundung****A6.2 Geophysik (übertägig)**

Das Untersuchungsprogramm zur Charakterisierung des Quartärs hat die Rekonstruktion der geologischen Geschichte des Quartärs zum Ziel, um daraus mögliche Prozesse zukünftiger Klimaveränderungen ableiten zu können. Aus der Beschreibung von Deformationen soll auf deren Ursachen geschlossen werden. Die quartären Prozesse sind:

Genereller Klimawechsel: Regenmengen, Temperaturänderungen, Zusammensetzung der Atmosphäre

Eiszeiten: Erosion, Spannungsänderungen, Last bzw. spannungsinduzierte Aktivierung von Störungen, Veränderung des Chemismus

Permafrost: Veränderung der Fließbedingungen, Versalzung, Grundwassereinschluss, Entstehung von Methanhydraten

Meeresspiegeländerungen: Veränderung der hydraulischen Gradienten, Änderung der Salzgehalte, Sedimentablagerung, Erosion, Veränderung der Biosphäre

Verfahren	Maßstab / Untersuchungsgebiet	Auflösung
Studien vorhandener Reliefkarten	national und regional	Raster 1 km ²
offshore-Seismik	regional, ca. 200 km ²	ca. 0,5 m (vertikal)
onshore-Seismik Übersichtsmessungen	District, ca. 120 km ²	variabel, ca. 1 m
onshore hochauflösende Seismik	spezielle Ziele ca. 2 km ²	ca. 2 - 5 m (vertikal)
VLF, TDEM (u.a.)	spezielle Ziele ca. 2 km ²	verschiedene Erkundungstiefen (bis ca. 200 m), schlechte Auflösung, ca. 10 m
Georadar(GPR)	spezielle Ziele ca. 2 km ²	Erkundungstiefe ca. 7 m, Auflösung 1 - 2 m (vertikal)
RESCAN	Feldziele ca. 100 x 100-m-Raster	Erkundungstiefe ca. 15 - 40 m, Auflösung ca. 1 m
Kartierung	Feldmaßstab ca. 2 - 10 m ²	ca. 10 cm und Versuchsschürfe
Bohrlochuntersuchungen	spezielle Ziele	ca. 10 cm

VLF Very Low Frequency electro-magnetic survey

TDEM Time Domain Electro-Magnetic survey

RESCAN 3D resistivity survey technique developed by the British Geological Survey

NIREX (1997a)

Seismizität:

- Erstellung eines Katalogs von seismischen Ereignissen (Erdbeben bis 09/1993) in einem 46.000 km² großen Gebiet um Sellafield sowie Zusammenstellung historischer Ereignisse
- Betrieb eines mikroseismischen Netzwerks (ab 09/1992, Cumbrian Microseismic Network) zur Aufzeichnung der lokalen Seismizität im Radius von 60 km um Sellafield
- Bestimmung der Magnitude makroseismischer Erdbeben
- Bestimmung der Erdbebenepizentren

NIREX (1996a)

in CHAPLOW (2002) [...\html\seismicity.html] Verweis auf Nirex Report No. SA/95/003 (liegt nicht vor)

Qualität: 2 Quantität: 3

Hier wurde eine integrative Bewertung über die Geophysik vorgenommen. Die Werte ergeben sich aus der Tatsache, dass ein sehr umfangreiches Programm durchgeführt wurde (Quantität: 3). Gleichzeitig schwanken die Qualitätsbewertungen für die einzelnen Verfahren zwischen 1 und 3.

A6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A6.4 Geol. Kartierung

A6.5 Bohrungen

A6.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A6.7 Feldmessungen - Geochemie

A6.8 Feldmessungen - Geomechanik

A6.9 Labor

A6.10 Untertage Geophysik

A6.11 Untertage geol. Kartierung

A6.12 Untertage Bohrungen**A6.13 Untertage In-situ-Messungen****A6.14 Untertage Labor****A7 Rohstoffvorkommen****A7.1 Fernerkundung****A7.2 Geophysik (übertägig)****A7.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A7.4 Geol. Kartierung****A7.5 Bohrungen****A7.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A7.7 Feldmessungen - Geochemie****A7.8 Feldmessungen - Geomechanik****A7.9 Labor****A7.10 Untertage Geophysik****A7.11 Untertage geol. Kartierung****A7.12 Untertage Bohrungen****A7.13 Untertage In-situ-Messungen****A7.14 Untertage Labor*****B Eigenschaften des Wirtsgesteins und des Deckgebirges am Standort*****B1 Lithologie/Stratigraphie****B1.1 Fernerkundung****B1.2 Geophysik (übertägig)**

Geophysikalische Messungen (siehe A3.2):

Qualität: 2 Quantität: 2

Qualität: 2 Quantität: 3

Qualität: 2 Quantität: 2

Qualität: 2 Quantität: 3

Qualität: 2 Quantität: 3

B1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

28 bis 30 (unterschiedliche Zahlenangaben) tiefe Bohrlöcher (> 150 m) an 16 Lokationen mit insgesamt 25.808 Bohrmeter (CHAPLOW, 2002); dazu kommen 35 flache Bohrungen. Insgesamt wurden 18,7 km Kernmaterial gewonnen.

Gesteins- und Materialparameter aus Bohrlochmessungen (Messabstände im Bohrloch 150 mm):

Messverfahren	Einheit	Bezeichnung (Schlumberger Wireline Services)
Porosity (total)	%	PHIT*, PIGT*
Neutron porosity	%	NPHI*
Bulk density	g/cm ³	RHOB*
Compressional velocity	km/sec	VP (1/DT*)
Compressional velocity	km/sec	VPW (1/DTCO*)
Shear velocity	km/sec	VSW (1/DTSM*)
Young's modulus	GPa	YME*
Shear modulus	GPa	SMG*
Bulk modulus (1/compressibility, 1/CCB)	GPa	BMK (KB*)
Poisson's ratio	-	PR*
Uniaxial compressive strength	MPa	UCS*
Tensile strength	MPa	TSTR*
Vertical stress (overburden)	kPa	TZSP*
Deep resistivity	Ωm	IDPH/LLD*, ILD*/IDER*
Shallow resistivity	Ωm	MSFL*/LLS*
Medium resistivity	Ωm	ILM*/IMER*
Gamma (total)	API units	GR*
Potassium	%	POTA*
Uranium	ppm	URAN*
Thorium	ppm	THOR*
Photo-electric factor	barn per electron	PEF*
Fracture intensity	1/m	
Spontaneous potential	mV	SP
Conductivity	mho/m	ACON*
Temperature	C	ATEM*, PTEM*, PTE1* etc

NIREX (1997d)

Hinzu kommen Bohrlochradar-Versuchsmessungen im Bohrloch 7A.

in CHAPLOW (2002) [...\html\borehole_radar.html] Verweis auf Nirex Reports No. 382, 685 (liegen nicht vor)

Qualität: 3 Quantität: 2

Gesteins- und Materialparameter aus Messungen an Bohrkernen: Bohrkerngröße Durchmesser: 25 bis 100 mm; insgesamt wurden 2.800 Bohrkern und 1.464 Dünnschliffe untersucht.

Messverfahren	Einheit	Bezeichnung (Schlumberger Wireline Services)
Porosity (liquid resaturation)	%	CP1
Porosity (gas expansion)	%	CP2
Porosity (geotechnical)	%	CP3
Permeability (gas)	mD	
Bulk density (liquid resaturation)	g/cm ³	CD1
Bulk density (geotechnical)	g/cm ³	CD3
Grain density (liquid resaturation)	g/cm ³	CD2
Grain density (geotechnical)	g/cm ³	CD4
Compressional velocity (confined)	km/sec	CV1
Compressional velocity (geotechnical, unconfined)	km/sec	CV3
Shear velocity (confined)	km/sec	CV2
Bulk modulus	GPa	CBM
Young's modulus	GPa	CYM
Shear modulus	GPa	CSM
Poisson's ratio		CPR
Triaxial compressive strength	MPa	CCS2
Uniaxial compressive strength	MPa	CCS1
Tensile strength (indirect)	MPa	ITS
Resistivity (geotechnical)	Ωm	CRM
Thermal conductivity	W/m/ K-	
Specific heat	J/kg/K	
Thermal expansion (mean coefficient)	1/K	
Fluid resistivity (geotechnical)	ohm m	CRW

NIREX (1997d), NIREX (1998)

Hinzu kommen Messungen der magnetischen Suszeptibilität [SI 10⁻³] und des Punkt-Last-Indexes Is (50) [MPa] an Bohrkernen.

NIREX (1998)

Zur Charakterisierung der mechanischen Gesteinseigenschaften werden Kompressionsmodul, Elastizitätsmodul, Schermodul und Poisson-Verhältnis sowohl im Bohrloch als auch an Bohrkernen aus anderen geophysikalischen Messungen (Dichte, Kompressions- und Scherwellengeschwindigkeit) abgeleitet.

NIREX (1998)

B1.4 Geol. Kartierung

Geologische Karten der Geländeoberfläche und mit abgedecktem Quartär:

Site (ca. 6,5 x 8 km): 1 : 20.000

PRZ (ca. 2,5 x 2,5 km): 1 : 10.000

Reliefkarte der Festgesteinsoberfläche:

Site (ca. 6,5 x 8 km): 1 : 20.000

PRZ (ca. 2,5 x 2,5 km): 1 : 10.000

Struktureliefkarten:

Site (ca. 6,5 x 8 km): Karten im Maßstab 1 : 20.000 an der Basis von verschiedenen geologischen Einheiten

PRZ (ca. 2,5 x 2,5 km): Karten im Maßstab 1 : 10.000 an der Basis von verschiedenen geologischen Einheiten

Mächtigkeitskarten der quartären Bedeckung:

Site (ca. 6,5 x 8 km): Reliefkarten im Maßstab 1 : 20.000

PRZ (ca. 2,5 x 2,5 km): Reliefkarten im Maßstab 1 : 10.000

Alle Kartierungen wurden vom British Geological Survey für die Nirex ausgeführt.

BGS (1998)

1994 wurden von den quartären Sedimenten im Laufe der Geländearbeiten Proben z.B. für Korngrößenanalysen genommen. Bei der Quartärkartierung wurden 49 Beprobungsgruben ausgehoben und 20 natürliche Aufschlüsse beprobt.

NIREX (1997a)

Qualität: 3 Quantität: 3

B1.5 BohrungenKernbohrungen:

Von 1987 bis 1997 wurden in Sellafield 21 Bohrungen mit Tiefen zwischen 773,04 m und 1.950,52 m u. GOK (Geländeoberkante) mit einem Bohrungsdurchmesser von 159 mm und einem Kerndurchmesser von 95 mm abgeteuft. Dazu wurde in den Sedimentgesteinen ein triple tube-Bohrverfahren verwandt.

NIREX (2005)

Insgesamt wurden in Sellafield 30 tiefe Kernbohrungen gebohrt (Gesamtlänge: 28.838,87 m mit einem Kerngewinn von 18.681,64 m); zwei bereits bestehende Bohrungen wurden ebenfalls verwandt.

NIREX (1998)

Qualität: 3 Quantität: 1

Flachbohrungen:

1995 wurden zur Quartärerkundung 13 Bohrungen bis ca. 65 m Tiefe gebohrt und für hydrogeologische Messungen ausgebaut.

NIREX (1997a)

35 Flachbohrungen wurden in Sellafield abgeteuft.

CHAPLOW (2002)

Für die Flachbohrungen wurde das Schlagbohrverfahren im offenen Bohrloch angewandt.

NIREX (2005)

Qualität: 2 Quantität: 1

B1.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B1.7 Feldmessungen - Geochemie****B1.8 Feldmessungen - Geomechanik****B1.9 Labor****B1.10 Untertage Geophysik**

B1.11 Untertage geol. Kartierung**B1.12 Untertage Bohrungen****B1.13 Untertage In-situ-Messungen****B1.14 Untertage Labor****B2 Geometrie****B2.1 Fernerkundung****B2.2 Geophysik (übertägig)**

Geophysikalische Messungen (siehe A3.2):

Qualität: 2	Quantität: 2
Qualität: 2	Quantität: 3
Qualität: 2	Quantität: 2
Qualität: 2	Quantität: 3
Qualität: 2	Quantität: 3

B2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**B2.4 Geol. Kartierung**

Bei den Kartierungen wurde auch die Geometrie der Einheiten erfasst.

Geologische Karten der Geländeoberfläche und mit abgedecktem Quartär:

Site (ca. 6,5 x 8 km):	1 : 20.000
PRZ (ca. 2,5 x 2,5 km):	1 : 10.000

Reliefkarte der Festgesteinsoberfläche:

Site (ca. 6,5 x 8 km):	1 : 20.000
PRZ (ca. 2,5 x 2,5 km):	1 : 10.000

Struktureliefkarten:

Site (ca. 6,5 x 8 km):	Karten im Maßstab 1 : 20.000 an der Basis von verschiedenen geologischen Einheiten
PRZ (ca. 2,5 x 2,5 km):	Karten im Maßstab 1 : 10.000 an der Basis von verschiedenen geologischen Einheiten

Mächtigkeitskarten der quartären Bedeckung:

Site (ca. 6,5 x 8 km):	Reliefkarten im Maßstab 1 : 20.000
PRZ (ca. 2,5 x 2,5 km):	Reliefkarten im Maßstab 1 : 10.000

Alle Kartierungen wurden vom British Geological Survey für die NIREX ausgeführt.

BGS (1998)

Qualität: 3	Quantität: 3
-------------	--------------

B2.5 Bohrungen

Die Bohrungen liefern auch Informationen über die Tiefenlage der geologischen Einheiten.

Kernbohrungen:

Beschreibung s. B1.5

Qualität: 2	Quantität: 1
-------------	--------------

Flachbohrungen:

Beschreibung s. B1.5

Qualität: 3 Quantität: 1

B2.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B2.7 Feldmessungen - Geochemie****B2.8 Feldmessungen - Geomechanik****B2.9 Labor****B2.10 Untertage Geophysik****B2.11 Untertage geol. Kartierung****B2.12 Untertage Bohrungen****B2.13 Untertage In-situ-Messungen****B2.14 Untertage Labor****B3 Makro-Struktur****B3.1 Fernerkundung****B3.2 Geophysik (übertägig)**

Geophysikalische Messungen (siehe A3.2):

Qualität: 2 Quantität: 2

Qualität: 2 Quantität: 3

Qualität: 2 Quantität: 2

Qualität: 2 Quantität: 3

Qualität: 2 Quantität: 3

3D-Seismik:

Es wurden Versuchsmessungen durchgeführt, ob vibroseismische Messungen für eine detaillierte strukturgeologische Untersuchung eines größeren Gebietes geeignet sind. Die Analyse seismischer Attribute der 3D-Seismik unterstützt die Erstellung eines 3D-Modells. Die Daten dieser Testmessungen wurden zur Untersuchung der Variabilität und Eigenschaften des Gebirges verwandt.

NIREX (1997c)

Das Modell der Gesteinseigenschaft im Maßstab des Schachtes für das Untertagelabor beruht u.a. auf der akustischen Impedanz der 3D-Seismik (12 m Gitterabstand) sowie aus Porositäten, die aus Log-Daten abgeschätzt sind, welche mit Kerndaten korreliert wurden.

NIREX (1997e)

Qualität: 3 Quantität: 3

B3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

VSP-Messungen und Cross-Hole-Tomographie verbessern im Detail die Interpretation von Fazies, Formationen und die Korrelation von Störungen. Die seismische Tomographie (zwischen 2 Bohrungen) liefert ein zweidimensionales Geschwindigkeitsfeld, welches zur strukturellen Erkundung dient.

CHAPLOW (2002) [...\html\tomography.html] Verweis auf Nirex Reports No. 385, 706, SA/94/007 (liegen nicht vor)

Die Bohrlochmessungen und Bohrkernaufnahmen dienen zur Bestimmung der Art von Diskontinuitäten, ihrer Häufigkeit und Orientierung.

Aus Untersuchungen an Bohrkernen und den Bilddaten der Bohrlochwand (elektrische und akustische Variationen in der Bohrlochwand) wurde ein Atlas über Kluftabstände (Discontinuity frequency) sowie die Orientierung der Diskontinuitäten für die verschiedenen Gesteinsformationen erstellt. Dabei sind Diskontinuitäten üblicherweise Klüfte, Risse und Störungen. Darüber hinaus bilden sich auch Feinschichtungen ab.

Aus der Kombination der Ergebnisse von Bild- und Kerndaten werden verschiedene Größen wie lithostratigraphischer Log, Kaliber-Log, Wireline Rock Index, Smoothed Density gemessen bzw. abgeleitet. Die Bilddaten wiederum liefern Frequenz (der Diskontinuitäten), Einfallrichtung, Einfallswinkel. Einfallswinkel und der Einfallswinkel in Abhängigkeit von der Streichrichtung werden statistisch ausgewertet. Es erfolgt eine stereographische Darstellung (Kluftrosen).

In Abhängigkeit von der Lithologie werden Diskontinuitätenabstand und -orientierung sowie Rock Quality Index bestimmt.

NIREX (1996c)

Qualität: 3 Quantität: 2

B3.4 Geol. Kartierung

Tektonische Karten:

Site (ca. 6,5 x 8 km): Karten im Maßstab 1 : 20.000

PRZ (ca. 2,5 x 2,5 km): Karten im Maßstab 1 : 10.000

Alle Karten wurden vom British Geological Survey für die Nirex erstellt.

BGS (1998)

Bei der Geländeaufnahme wurden in der Site Area die tektonischen Strukturen eingemessen.

Nirex (1997b)

Qualität: 3 Quantität: 3

B3.5 Bohrungen

B3.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B3.7 Feldmessungen - Geochemie

B3.8 Feldmessungen - Geomechanik

B3.9 Labor

B3.10 Untertage Geophysik

B3.11 Untertage geol. Kartierung

B3.12 Untertage Bohrungen

B3.13 Untertage In-situ-Messungen

B3.14 Untertage Labor

B4 Mikro-Struktur

B4.1 Fernerkundung

B4.2 Geophysik (übertägig)

B4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B4.4 Geol. Kartierung

B4.5 Bohrungen

B4.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B4.7 Feldmessungen - Geochemie****B4.8 Feldmessungen - Geomechanik****B4.9 Labor**

Im Zuge des Core Characterisation-Programms wurden auftretende Makro- und Mikrostrukturen anhand von Bohrkernuntersuchungen dokumentiert.

CHAPLOW (2002)

Qualität: 1 Quantität: 2

Da weder Anzahl, Zielsetzung noch Ergebnisse der Laboruntersuchungen bekannt sind, wird die Qualität mit 1 eingestuft; da die untersuchenden Institutionen (Geol. Survey) als seriös und anerkannt eingeschätzt werden, wird die Quantität mit 2 eingestuft.

B4.10 Untertage Geophysik**B4.11 Untertage geol. Kartierung****B4.12 Untertage Bohrungen****B4.13 Untertage In-situ-Messungen****B4.14 Untertage Labor****B5 In-situ-Spannungsverhältnisse****B5.1 Fernerkundung****B5.2 Geophysik (übertägig)**

Aufbau eines mikroseismischen Netzwerkes zur Aufzeichnung der lokalen Seismizität im Radius von 60 km um Sellafield. Bestimmung von Herdflächenlösungen.

NIREX (1997f)

CHAPLOW (2002) [...html\seismicity.html] Verweis auf Nirex Report No. SA/95/003 (liegt nicht vor)

Qualität: 2 Quantität: 3

B5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Die Kenntnis des In-situ-Spannungsfeldes stellt einen wichtigen (quantitativen) Teil der geotechnischen Untersuchungen für alle Aktivitäten im Untergrund (z.B. Bau des Untertagelabors) dar. Darüber hinaus liefert es wertvolle Informationen zum Verständnis aktuell ablaufender geologischer und geophysikalischer Vorgänge in der Erdkruste.

Bohrlochwandausbrüche und vertikale Strukturen (Risse) werden mit Borehole Tele Viewer (BHTV, Laufzeitdaten) erfasst. Die Analyse von Dichte-Logs liefert einen Trend der vertikalen Spannung in Abhängigkeit von der Tiefe.

NIREX (1997f)

Qualität: 2 Quantität: 2

B5.4 Geol. Kartierung**B5.5 Bohrungen****B5.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B5.7 Feldmessungen - Geochemie**

B5.8 Feldmessungen - Geomechanik

28 Hydrofractests (HFSM) sowie die Analyse von 44 Bohrlochwandausbrüchen (breakouts) in 10 Bohrungen. Die Ergebnisse werden mit overcore-Spannungsmessungen (OCSM) und Herdflächenlösungen verglichen; die Ergebnisse stimmen gut überein.

NIREX (1997f)

Qualität: 2 Quantität: 2

B5.9 Labor**B5.10 Untertage Geophysik****B5.11 Untertage geol. Kartierung****B5.12 Untertage Bohrungen****B5.13 Untertage In-situ-Messungen****B5.14 Untertage Labor****B6 Mineralogie****B6.1 Fernerkundung****B6.2 Geophysik (übertägig)****B6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B6.4 Geol. Kartierung****B6.5 Bohrungen****B6.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B6.7 Feldmessungen - Geochemie****B6.8 Feldmessungen - Geomechanik****B6.9 Labor****B6.10 Untertage Geophysik****B6.11 Untertage geol. Kartierung****B6.12 Untertage Bohrungen****B6.13 Untertage In-situ-Messungen****B6.14 Untertage Labor****B7 Petrophysikalische Eigenschaften****B7a Gesteinsmechanik****B7a.1 Fernerkundung****B7a.2 Geophysik (übertägig)****B7a.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

Zur Charakterisierung der mechanischen Gesteinseigenschaften werden Kompressionsmodul, Elastizitätsmodul, Schermodul und Poisson-Verhältnis sowohl im Bohrloch als auch an Bohrkernen aus anderen geophysikalischen Messungen (Dichte, Kompressions- und Scherwellengeschwindigkeit) abgeleitet.

Die Entwicklung und Berechnung eines Rock Quality Indexes erfolgt analog zur Entwicklung und Berechnung eines hydrogeologischen Indexes (s. C1.3) durch eine andere Gewichtung und Relation der

Parameter. Geostatistische Analysen (Variogramme) liefern Aussagen zur Variabilität und räumlichen Verteilung der Parameter und Indizes.

Die Korrelation der akustischen Impedanz mit dem Index erfolgt durch Fuzzy Logic Prozeduren. Zwischen Rock Mass Rating Classes (RMR) und akustischer Impedanz werden empirische funktionale Zusammenhänge entwickelt, die zur Darstellung von 3D-Modellen der RMR führen.

NIREX (1997e)

Qualität: 2 Quantität: 2

B7a.4 Geol. Kartierung

B7a.5 Bohrungen

B7a.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7a.7 Feldmessungen - Geochemie

B7a.8 Feldmessungen - Geomechanik

28 Hydrofracttests (HFSM) wurden durchgeführt sowie die Analyse von 44 Bohrlochwandausbrüchen (breakouts) in 10 Bohrungen. Die Ergebnisse werden mit overcore-Spannungsmessungen (OCSM) und Herdflächenlösungen verglichen; die Ergebnisse stimmen gut überein (NIREX, 1997f). Zur Charakterisierung der mechanischen Gesteinseigenschaften werden Kompressionsmodul, Elastizitätsmodul, Schermodul und Poisson-Verhältnis sowohl im Bohrloch als auch an Bohrkernen aus anderen geophysikalischen Messungen (Dichte, Kompressions- und Scherwellengeschwindigkeit) abgeleitet.

NIREX (1998)

Qualität: 2 Quantität: 2

B7a.9 Labor

Bis 2002 wurden 28 Bohrungen tiefer als 150 m an 16 Lokationen abgeteuft. Dabei wurden Bohrkern gewonnen, die teilweise im Labor geotechnisch und geophysikalisch untersucht wurden, um die Gesteine gesteinsmechanisch zu charakterisieren. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in diversen Reports (z.B. 267, 640, 739, SA/97/048, SA/97/052) dokumentiert (CHAPLOW, 2002).

Qualität: 1 Quantität: 2

Da weder Anzahl, Zielsetzung noch Ergebnisse der gesteinsmechanischen Untersuchungen bekannt sind, wird die Qualität mit 1 eingestuft; da die untersuchenden Institutionen (Geol. Survey) als seriös und anerkannt eingeschätzt werden, wird die Quantität mit 2 eingestuft.

B7a.10 Untertage Geophysik

B7a.11 Untertage geol. Kartierung

B7a.12 Untertage Bohrungen

B7a.13 Untertage In-situ-Messungen

B7a.14 Untertage Labor

B7b Hydraulisch (z. B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)

B7b.1 Fernerkundung

B7b.2 Geophysik (übertägig)

B7b.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7b.4 Geol. Kartierung

B7b.5 Bohrungen

B7b.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B7b.7 Feldmessungen - Geochemie****B7b.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7b.9 Labor**

An Kernmaterial aus den bis 2002 abgeteufte 28 Bohrungen wurden Laboruntersuchungen bezüglich hydraulischer Eigenschaften der auftretenden Gesteine durchgeführt und u.a. in den NIREX-Reports 645 und 732 dokumentiert (CHAPLOW, 2002).

Qualität: 1 Quantität: 2

Da weder Anzahl, Zielsetzung noch Ergebnisse der gesteinsmechanischen Untersuchungen bekannt sind, wird die Qualität mit 1 eingestuft; da die untersuchenden Institutionen (Geol. Survey) als seriös und anerkannt eingeschätzt werden, wird die Quantität mit 2 eingestuft.

B7b.10 Untertage Geophysik**B7b.11 Untertage geol. Kartierung****B7b.12 Untertage Bohrungen****B7b.13 Untertage In-situ-Messungen****B7b.14 Untertage Labor****B7c Diffusion****B7c.1 Fernerkundung****B7c.2 Geophysik (überflächig)****B7c.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7c.4 Geol. Kartierung****B7c.5 Bohrungen****B7c.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7c.7 Feldmessungen - Geochemie****B7c.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7c.9 Labor****B7c.10 Untertage Geophysik****B7c.11 Untertage geol. Kartierung****B7c.12 Untertage Bohrungen****B7c.13 Untertage In-situ-Messungen****B7c.14 Untertage Labor****B7d Thermisch****B7d.1 Fernerkundung****B7d.2 Geophysik (überflächig)****B7d.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7d.4 Geol. Kartierung****B7d.5 Bohrungen****B7d.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

B7d.7 Feldmessungen - Geochemie

B7d.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7d.9 Labor

B7d.10 Untertage Geophysik

B7d.11 Untertage geol. Kartierung

B7d.12 Untertage Bohrungen

B7d.13 Untertage In-situ-Messungen

B7d.14 Untertage Labor

B7e THMC-Kopplung

B7e.1 Fernerkundung

B7e.2 Geophysik (übertägig)

B7e.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7e.4 Geol. Kartierung

B7e.5 Bohrungen

B7e.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7e.7 Feldmessungen - Geochemie

B7e.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7e.9 Labor

B7e.10 Untertage Geophysik

B7e.11 Untertage geol. Kartierung

B7e.12 Untertage Bohrungen

B7e.13 Untertage In-situ-Messungen

B7e.14 Untertage Labor

B7f Chemische Eigenschaften (z. B. Oxidation, Adsorption)

B7f.1 Fernerkundung

B7f.2 Geophysik (übertägig)

B7f.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7f.4 Geol. Kartierung

B7f.5 Bohrungen

B7f.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7f.7 Feldmessungen - Geochemie

B7f.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7f.9 Labor

B7f.10 Untertage Geophysik

B7f.11 Untertage geol. Kartierung

B7f.12 Untertage Bohrungen

B7f.13 Untertage In-situ-Messungen

B7f.14 Untertage Labor

C Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)**C1 Hydraulisch wirksame Einheiten****C1.1 Fernerkundung****C1.2 Geophysik (übertägig)**

Quartäre Prozesse (s. A6.2) können insbesondere Einfluss auf hydraulische Leitfähigkeiten haben. Das Untersuchungsprogramm zur Charakterisierung des Quartärs hat auch die Ermittlung von Hintergrundinformationen zur Modellierung des oberflächennahen hydrogeologischen Regimes zum Ziel.

Zur Untersuchung der Faktoren, die den Grundwasserfluss beeinflussen, gehört auch die Bestimmung der räumlichen Variabilität der Gesteinsqualität (Rock Quality) am Standort. Dies erfolgt anhand der Kombination von Bohrlochmessungen mit seismischen Attributen aus der 3D-Seismik. Das Erkennen von (lokalen) funktionalen Zusammenhängen zwischen Parametern, die aus Bohrlochmessungen gewonnen werden und seismischen Attributen ermöglicht die Interpolation der Parameter zwischen Bohrlöchern im Raum.

Die Korrelationen zwischen Gesteinsqualität, Porosität, Permeabilität und akustischer Impedanz des 3D-seismischen-Datensatzes (Inversion) erfolgen unter Anwendung geostatistischer Methoden, fuzzy logic und direkter Korrelationen (s. C1.3). Damit wurden räumliche Aussagen zur Porosität und Permeabilität hergeleitet.

NIREX (1997d)

Qualität: 3 Quantität: 3

C1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Entwicklung und Berechnung eines hydrogeologischen Indexes aus Porosity, Density, Velocity und Resistivity Logs sowie aus Kluftabstand, Erkennung von permeablen Zonen, Stoneley-Wellen, hydraulischen Leitfähigkeiten. Darin geht der Wireline Property Log (Neutron Porosity, Bulk Density, Compressional Velocity und Shallow Resistivity) als Maß zur Bestimmung von Störungen und Klüften ein. Die Berechnung des hydrogeologischen Indexes erfolgt durch eine multivariate statistische Cluster-Analyse zur Gruppierung der Daten.

Die Korrelation der akustischen Impedanz mit dem Index erfolgt durch Fuzzy Logic Prozeduren. Zwischen Porosität sowie Permeabilität und akustischer Impedanz werden empirische funktionale Zusammenhänge entwickelt, die zur Darstellung von 3D-Modellen der Porosität und Permeabilität führen.

NIREX (1997d)

Qualität: 3 Quantität: 2

C1.4 Geol. Kartierung*Karte der Quellaustritte:*

District (ca. 20 x 30 km): Karte im Maßstab 1 : 100.000

Site (ca. 6,5 x 8 km): Karte im Maßstab 1 : 20.000

Karte der Hydrogeologischen Einheiten:

District (ca. 20 x 30 km): Karte im Maßstab 1 : 100.000, auch eine vereinfachte Karte im Maßstab 1 : 100.000

Site (ca. 6,5 x 8 km): Karte im Maßstab 1 : 20.000

PRZ (ca. 2,5 x 2,5 km): Karte im Maßstab 1 : 10.000

Alle Geländeaufnahmen wurden vom British Geological Survey für die Nirex erstellt; BGS (1998)

An der Oberfläche wurden 4 Messstellen für Abflussmessungen eingerichtet, außerdem wurden die Abflüsse an Flüssen und Quellen punktuell gemessen.

NIREX (1996a)

District: Qualität: 3 Quantität: 2

Site/PRZ: Qualität: 3 Quantität: 3

C1.5 Bohrungen

C1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

C1.7 Feldmessungen - Geochemie

C1.8 Feldmessungen - Geomechanik

C1.9 Labor

C1.10 Untertage Geophysik

C1.11 Untertage geol. Kartierung

C1.12 Untertage Bohrungen

C1.13 Untertage In-situ-Messungen

C1.14 Untertage Labor

C2 Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein

C2.1 Fernerkundung

C2.2 Geophysik (übertägig)

C2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

C2.4 Geol. Kartierung

C2.5 Bohrungen

C2.6 Feldmessungen - Geohydraulik

Langzeitüberwachung (Monitoring):

Zeitreihen mit Langzeit-Grundwassermonitoring-System (Westbay-Multipacker-System) (161 Intervalle gesamt) an 19 Tiefbohrungen (bis 1997 insgesamt 22 Bohrungen).

NIREX (1997c)

Qualität: 3 Quantität: 1

Manuelle Messungen:

Manuelle Messungen und Sondenmessungen in offenen Bohrlöchern.

NIREX (1996a)

Qualität: 1 Quantität: Keine Angabe über Anzahl

75 Porenwasserdruckmessungen (*Environmental Pressure Measurement*) in Tiefbohrungen. Dabei handelt es sich um einen Einzelpacker-Test, bei dem in einem Intervall von ca. 50 m der Druckausgleich ermittelt wurde.

BATH et al. (1997)

Qualität: 2 Quantität: 1

C2.7 Feldmessungen - Geochemie

C2.8 Feldmessungen - Geomechanik

C2.9 Labor

C2.10 Untertage Geophysik**C2.11 Untertage geol. Kartierung****C2.12 Untertage Bohrungen****C2.13 Untertage In-situ-Messungen****C2.14 Untertage Labor****C3 Fließ- und Speicherparameter****C3.1 Fernerkundung****C3.2 Geophysik (überfällig)****C3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

Permeabilitätsbestimmungen durch Auswertung von Stoneley-Wellen.

NIREX (1997d)

Ohne Bewertung, da nicht ausreichend Informationen vorliegen und die Methodik Forschungscharakter besitzt.

C3.4 Geol. Kartierung**C3.5 Bohrungen****C3.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

Großpumpversuch:

1995 wurde in der Bohrung RCF3 über 8 Monate ein Pumpversuch durchgeführt. Die Bohrung wurde mit Packern in 10 hydraulisch unterschiedliche Bereiche unterteilt, von denen nur 4 genutzt wurden. Im Beobachtungsbereich lagen 19 Bohrungen, die mit Packern in insgesamt 143 Intervalle aufgegliedert wurden. In 12 Bohrungen wurden ergänzend zum Pumpbrunnen der Druck und die Temperatur überwacht. Außerdem wurden während des Pumpversuchs Flow Logging-Messungen durchgeführt, um Abweichungen des Durchflusses zu lokalisieren. Um unterschiedliche Pumpraten (Bandbreite von 150 l/min bis 0,1 l/min) erzeugen zu können, wurden zwei Pumpen im Bohrloch verwandt. Mit der Ausrüstung war es möglich, entweder mit konstanter Flussrate oder bei konstantem Druck zu pumpen.

NIREX (1996b)

Qualität: 3 Quantität: 1

Die Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeit in quartären Schichten erfolgte nach folgenden Methoden:

- Hydrogeologische Tests in Bohrungen
- Penetrometer-Tests
- Korngrößenabschätzung basierend auf Sieb- (61 Proben) und Sortierungsanalysen

Hydrogeologische Einheit	Lithologie	Anzahl der Messungen	Methode
Multi-till lacustrine	gesättigter Schluff/Ton	25	Penetrometer
Multi-till lacustrine	gesättigter Sand	10	
Multi-till lacustrine	Kies	3	
Multi-till lacustrine	Basis Rinnen	16	Slug Test, Bouwer & Rice
Multi-till lacustrine	Schichtabfolge	26	Slug Test, Hvorslev
Buried Channel	Sand und Kies	18	Pump- und Injektionstests
Buried Channel	Schluff in Rinnen	2	Pumpversuche

NIREX (1997a)

Seit 1993 umfasste das hydrogeologische Untersuchungsprogramm an Bohrungen folgende Tests:

- **Extraktions-Tests** (*Post Completion Discrete Extraction Tests*) nach Fertigstellung der Bohrung; Pumpversuche in Bohrungen mit einer längeren Dauer als bei den Bohrungspausen
- **Kluftnetzwerk-Tests** in der Bohrung RCF3 (*Fracture Network Tests*). Tests mit 6 Packern zum Abgrenzen von 5 Intervallen (20 m). Gepumpt wurde vom zentralen Intervall aus; die Druckänderungen wurden in den restlichen 4 Intervallen gemessen, um die Transmissivität und die Zusammenhänge in den Störungszonen in der vulkanischen Borrowdale-Gruppe zu bestimmen.
- **kleinräumige hydraulische Tests** (*Short Interval Hydraulic Tests*) in der Bohrung RCF3; ca. 100 Tests in 1- bis 1,5-m-Intervallen zur Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeit der vulkanischen Borrowdale-Gruppe
- **hydraulische Tests zwischen den Bohrungen 2 und 4** (*Cross-hole hydraulic testing*); 7 separate Pumpversuche über 7 Monate in der Bohrung 2 mit 6 gepackerten Intervallen im Bereich der vulkanischen Borrowdale-Gruppe; in der Bohrung 4 wurde zur Beobachtung der Auswirkungen des Versuchs ein Monitoring-System verwendet, mit dem in 18 isolierten Bereichen die Druckentwicklung während des Tests beobachtet wurde (insgesamt 30 Intervalle möglich)
- **Großpumpversuch** in der Bohrung RCF3 (s. o.)
- **Pumpversuche** in flachen Sandstein-Bereichen in 3 Bohrungen (10A, 10B, 10C)

Außerdem erfolgten Zuflussmessungen an den Bohrungen.

NIREX (1997c)

Slug Test:	Qualität: 3	Quantität: 1
Injektionstest:	Qualität: 2	Quantität: 1
Pumpversuch/Extraktions-Test:	Qualität: 2	Quantität: 1
Interferenztest zw. Bohrung 2 und 4:	Qualität: 3	Quantität: 1

Großpumpversuch: Bewertung s. oben.

C3.7 Feldmessungen - Geochemie

C3.8 Feldmessungen - Geomechanik

C3.9 Labor

C3.10 Untertage Geophysik

C3.11 Untertage geol. Kartierung

C3.12 Untertage Bohrungen

C3.13 Untertage In-situ-Messungen

C3.14 Untertage Labor

C4 Zwei-Phasenflussparameter

C4.1 Fernerkundung

C4.2 Geophysik (übertägig)

C4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

C4.4 Geol. Kartierung

C4.5 Bohrungen

C4.6 Feldmessungen - Geohydraulik

- C4.7 Feldmessungen - Geochemie**
- C4.8 Feldmessungen - Geomechanik**
- C4.9 Labor**
- C4.10 Untertage Geophysik**
- C4.11 Untertage geol. Kartierung**
- C4.12 Untertage Bohrungen**
- C4.13 Untertage In-situ-Messungen**
- C4.14 Untertage Labor**

D Hydrochemie

D1 Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)

- D1.1 Fernerkundung**
- D1.2 Geophysik (übertägig)**
- D1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**
- D1.4 Geol. Kartierung**
- D1.5 Bohrungen**
- D1.6 Feldmessungen - Geohydraulik**
- D1.7 Feldmessungen - Geochemie**
- D1.8 Feldmessungen - Geomechanik**
- D1.9 Labor**

Wasserproben wurden zur Analyse der Isotopenverhältnisse sowie gelöster Gase genommen.

BATH et al. (1997, 2006), METCALFE et al. (2007), NIREX (1996a), NIREX (1997g, j, k), NIREX (1998a, b)

Qualität: 2 / 3 Quantität: 2 (Sauerstoff- und Wasserstoffisotope - 57 Ergebnisse)

Qualität: 1 Quantität: 1 (Tritium - 32 Ergebnisse)

Qualität: 1 Quantität: 1 (Kohlenstoffisotope - 37 Ergebnisse)

Qualität: 2 / 3 Quantität: 3 (Chlor-36 - 18 Ergebnisse)

Tritium sowie ^{14}C Ergebnisse waren unzuverlässig wegen Spülungskontamination.

BATH et al. (2006).

- D1.10 Untertage Geophysik**
- D1.11 Untertage geol. Kartierung**
- D1.12 Untertage Bohrungen**
- D1.13 Untertage In-situ-Messungen**
- D1.14 Untertage Labor**

D2 Porenwasserchemismus

- D2.1 Fernerkundung**

D2.2 Geophysik (übertägig)

Zur Interpolation des Salzgehaltes im Grundwasser zwischen einzelnen Bohrungen werden an der Oberfläche CSAMT-Messungen durchgeführt.

NIREX (1997c), NIREX (1997g)

Qualität: 2 Quantität: 2 (unsicher)

D2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Die bohrlochgeoelektrischen Daten dienen auch zum Nachweis der lateralen Verbreitung des Salzgehaltes (STZ - Saline Transition Zone).

Die STZ bezeichnet in der Region Sellafield den Übergang zu salinarem Grundwasser mit der Tiefe. Sie ist definiert als Tiefenintervall, in dem die elektrische Leitfähigkeit des Grundwassers (bezogen auf eine Referenztemperatur von 25°C) von 10 mS/cm auf 17 mS/cm zunimmt. Für die Grundwasserzusammensetzung in Sellafield entsprechen 17 mS/cm einer Chloridkonzentration von 6.000 mg/l und einer gesamten gelösten Feststoffkonzentration (total dissolved solids concentration) von 10.000 mg/l, was üblicherweise als untere Grenze von Salzwasser verwendet wird. Wasser mit einer gesamten gelösten Feststoffkonzentration im Bereich von 1.000 bis 10.000 mg/l ist als „Brackwasser“ definiert und Wasser mit weniger als 1.000 mg/l gesamten gelösten Feststoffkonzentration als „Frischwasser“.

Bestimmung von „Iso-Chlor“-Flächen (Flächen gleicher Chloridkonzentration), basierend auf Grundwasserproben, geophysikalische Bohrlochmessungen und CSAMT.

NIREX (1996a)

Bestimmung der (Grundwasser-)Temperatur und des Temperaturgradienten in Bohrungen.

NIREX (1997c)

Qualität: 2 Quantität: 2

D2.4 Geol. Kartierung**D2.5 Bohrungen****D2.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D2.7 Feldmessungen - Geochemie**

Elektrische Leitfähigkeit wurde für alle Proben im Feldlabor bestimmt.

Qualität: 1 Quantität: 1

D2.8 Feldmessungen - Geomechanik**D2.9 Labor**

Flaches Grundwasser wurde mit Proben von Bohrungen, Quellen sowie Regenwasser untersucht. Die Daten stammen von 22 Quellen, 11 flachen Bohrungen (< 100 m) sowie von flachen Tiefen in 2 Altbohrungen.

In den tiefen Bohrungen erfolgte Beprobungen von gepumpten Intervallen. Tracer wurden eingesetzt, um die Kontamination mit der Spülung überprüfen zu können bzw. dafür eine Korrektur zu machen. Proben wurden von 163 Intervallen in 19 Bohrungen genommen. 97 Beprobungen erfolgten durch verschiedene Arten von Pumpvorgängen: environmental pressure measurement-Tests (EPM); swabbing EPM (SEPM); full sector-Test (FST); discrete extraction-Tests (DET); post completion DET (PCDET) und post drilling DET (PDDET); 79 Proben hatten ein Spülungsgehalt von < 10%.

Proben zur Analyse reaktiver Gase (CO₂, CH₄, höhere Kohlenwasserstoffe usw.) wurden im Bohrloch in unter Druck stehenden Behältern genommen.

	Anzahl der analysierten Beprobungspunkte	zuverlässige Ergebnisse
Proben mit < 5% Gehalt des Spülungstracers	73	
chemische Analyse: flache Grundwässer	39	39
chemische Analyse: tiefe Grundwasserproben	(Analysenanzahl > 500)	81
Eh	78	0
pH, Alkalinität	78	64
HS	27	2
Fe	78	5
$^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$	24	24
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	27	27
U, Th	32	29
Rn	36	36

BATH et al. (1997, 2006), Nirex (1996a), Nirex (1997g, j, k), Nirex (1998a, b)

Qualität: 2 / 3 Quantität: 1 (Alkalinität)

Qualität: 2 / 3 Quantität: 1 (U, Th, Rn)

Wegen Spülungskontamination sowie Probenoxidation konnten redoxempfindliche Substanzen nicht analysiert werden. Von allen Tiefbohrungen standen 54 Ergebnissätze für gelöste Hauptsubstanzen zur Verfügung.

BATH et al. (2006)

Qualität: 2 / 3 Quantität: 1

D2.10 Untertage Geophysik

D2.11 Untertage geol. Kartierung

D2.12 Untertage Bohrungen

D2.13 Untertage In-situ-Messungen

D2.14 Untertage Labor

D3 Transporteigenschaften

D3.1 Fernerkundung

D3.2 Geophysik (übertägig)

D3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

D3.4 Geol. Kartierung

D3.5 Bohrungen

D3.6 Feldmessungen - Geohydraulik

D3.7 Feldmessungen - Geochemie

D3.8 Feldmessungen - Geomechanik

D3.9 Labor

D3.10 Untertage Geophysik

D3.11 Untertage geol. Kartierung**D3.12 Untertage Bohrungen****D3.13 Untertage In-situ-Messungen****D3.14 Untertage Labor****D4 Kolloide usw.****D4.1 Fernerkundung****D4.2 Geophysik (übertägig)****D4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D4.4 Geol. Kartierung****D4.5 Bohrungen****D4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D4.7 Feldmessungen - Geochemie****D4.8 Feldmessungen - Geomechanik****D4.9 Labor****D4.10 Untertage Geophysik****D4.11 Untertage geol. Kartierung****D4.12 Untertage Bohrungen****D4.13 Untertage In-situ-Messungen****D4.14 Untertage Labor****ZITATE**

(Die mit * gekennzeichneten Zitate befinden sich auf dem beiliegenden Datenträger)

*BATH, A., HARDING, W. & FORDE, K. (1997): The Derivation of Freshwater and Environmental Heads, Hydraulic Conductivity and Borehole Chloride Values with Uncertainty Limits for Use in Nirex 97 Groundwater Modelling, August 1997, Nirex Report No: SA/97/065, United Kingdom Nirex Limited, Oxfordshire.

*BATH, A., RICHARDS, H., METCALFE, R., MCCARTNEY, R., DEGNAN, P. & LITTLEBOY, A. (2006) Geochemical Indicators of Deep Groundwater Movements at Sellafield, UK. In: Special vol. 'Geochemical Aspects of Radioactive Waste Disposal' (guest eds. J-B. Peyaud, T. de Putter and I. McKinley). Journal of Geochemical Exploration, 90, 24-44.

BRITISH GEOLOGICAL SURVEY (BGS) (1998): Sellafield Geological and Hydrogeological Investigations – Compilation of Maps and Sections, March 1998, Nirex Report No: SA/98/001, United Kingdom Nirex Limited, Oxfordshire. [Hinweis: keine elektronische Version verfügbar]

*CHAPLOW, R. (1996): The investigations of the geology and hydrogeology at Sellafield in the United Kingdom. Chapter 26 in Geological Problems in Radioactive Waste Isolation, Second Worldwide Review (P A Witherspoon, ed). Earth Sciences Division, Berkeley National Laboratory, University of California. LBNL-38915 UC-814. Berkeley, USA. 249-258.

*CHAPLOW, R. (2002): Sellafield and Dounreay Geological and Hydrogeological Investigations – A Guide to Sources of Information, April 2002, Report TE2933/003/TR3, Electronic Guide (With Acrobat Data), Robert Chaplow Associates Limited.

- *METCALFE, R., CRAWFORD, M. B., BATH, A. H., LITTLEBOY, A.K., DEGNAN, P. J. & RICHARDS, H. G. (2007): Characteristics of deep groundwater flow in a basin marginal setting at Sellafield, northwest England: 36Cl and halide evidence. *Applied Geochemistry*, 22, 128-151.
- *NIREX (1996a): Sellafield Geological and Hydrogeological Investigations - Rock Characterisation Facility, Longlands Farm, West Cumbria, Report on Baseline Groundwater Pressures and Hydrochemistry, Nirex Report S/96/006, United Kingdom Nirex Limited, Oxfordshire.
- *NIREX (1996b): Sellafield Geological and Hydrogeological Investigations – The Borehole RCF3 Pump Test, December 1996, Nirex Report S/96/003, United Kingdom Nirex Limited, Oxfordshire
- *NIREX (1996c): Sellafield Geological and Hydrogeological Investigations – Structural Atlas of the Sellafield Boreholes, Nirex Report S/96/005, United Kingdom Nirex Limited, Oxfordshire.
- *NIREX (1997a): Sellafield Geological and Hydrogeological Investigations – The Quaternary of the Sellafield area, April 1997, Nirex Science Report No: S/97/002, United Kingdom Nirex Limited, Oxfordshire.
- *NIREX (1997b): Sellafield Geological and Hydrogeological Investigations – The Geological Structure of the Sellafield Site, September 1997, Nirex Science Report No: S/97/007, United Kingdom Nirex Limited, Oxfordshire.
- *NIREX (1997c): Sellafield Geological and Hydrogeological Investigations – The Hydrogeology of the Sellafield Area: 1997 update, December 1997, Nirex Science Report No: S/97/008, United Kingdom Nirex Limited, Oxfordshire.
- *NIREX (1997d): Sellafield Geological and Hydrogeological Investigations – Spatial Heterogeneity of the Rock Mass within the Potential Repository Zone, Nirex Science Report No: S/97/005, United Kingdom Nirex Limited, Oxfordshire.
- *NIREX (1997e): Sellafield Geological and Hydrogeological Investigations – Planning the Scientific Programme for the Rock Characterisation Facility, Nirex Science Report No: S/97/006, United Kingdom Nirex Limited, Oxfordshire.
- *NIREX (1997f): Assessment of in-situ Stress-Field at Sellafield, Nirex Science Report No: S/97/003, United Kingdom Nirex Limited, Oxfordshire.
- *NIREX (1997g): Sellafield Geological and Hydrogeological Investigations – The Hydrochemistry of Sellafield, 1997 Update, Nirex Science Report No: S/97/089, United Kingdom Nirex Limited, Oxfordshire.
- *NIREX (1997h): Sellafield regional hydrogeology: Data acquisition report 1995. Nirex Report SA/97/010.
- *NIREX (1997i): Sellafield regional hydrogeology: Data acquisition report 1996. Nirex Report SA/97/022.
- *NIREX (1997j): Near surface hydrochemistry of the Sellafield area. Nirex Report SA/97/079.
- *NIREX (1997k): Evaluation and Interpretation of Carbon Isotope and Tritium Data for Groundwater Samples from Deep Boreholes at Sellafield. Science Report SA/97/094. UK Nirex Ltd, Harwell.
- *NIREX (1998a): Sellafield geological investigations: Acquisition of deep borehole groundwater compositions. Nirex Report SA/97/072
- *NIREX (1998b): Compilation of reconnaissance studies for selected isotope, gas and trace element data from Sellafield. Nirex Report SA/97/090
- Nirex (1998a): Sellafield Geological and Hydrogeological Investigations - Compilation of Borehole Summary Drawings, March 1998, Nirex Report No: SA/98/002, United Kingdom Nirex Limited, Oxfordshire.
- *NIREX (2005): Geosphere Characterisation Project - Status Report: March 2005, August 2005, Nirex Report N/123, United Kingdom Nirex Limited, Oxfordshire.

SELLAFIELD		Erkundungs- methoden: 1-9 übertägig 10-14 untertägig	Fernerkundung	Geophysik (übertägig)	Geophysik (im Bohrloch)	Geol. Kartierung	Bohrungen	Feldmessungen - Geohydraulik	Feldmessungen - Geochemie	Feldmessungen - Geomechanik	Labor	Geophysik	geologische Kartierung	Bohrungen	In-situ- Messungen	Labor
Inhalte der Themenkomplexe		Bezeichnungen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Regionale Geologie (20 km*20 km)																
Wirtsgestein / Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)	A1															
Stratigraphie	A2															
Strukturgeologie und Tektonik (Störungsmuster, Faltung)	A3															
Regionales Spannungsfeld	A4															
Temperatur und Wärmeleitfähigkeit	A5															
Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z.B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)	A6															
Rohstoffvorkommen	A7															
Eigenschaften des Wirtsgesteins und des Deckgebirges am Standort																
Lithologie	B1															
Geometrie (Tiefenlage, Ausdehnung)	B2															
Makro-Struktur (Großgefüge: Störungen / Faltungen / Deformationen / Klüfte)	B3															
Mikro-Struktur (Korngefüge / Porenstruktur)	B4															
In-situ-Spannungsverhältnisse	B5															
Mineralogie	B6															
Petrophysikalische Eigenschaften (Probenmaßstab):																
Gesteinsmechanik (z.B. Festigkeit, Kriechen)	B7a															
Hydraulik (z.B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)	B7b															
Diffusion	B7c															
Thermik	B7d															
THMC-Kopplung	B7e															
Chemismus (z.B. Oxidation, Adsorption)	B7f															
Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)																
Hydraulisch wirksame Einheiten	C1															
Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein	C2															
Fließ- und Speicherparameter	C3															
Zwei-Phasenfluss-Parameter	C4															
Hydrochemie																
Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)	D1															
Porenwasserchemismus	D2															
Transporteigenschaften	D3															
Kolloide usw.	D4															

Erkundungsaktivität

Erkundungsaktivität ohne eine Bewertung bzgl. der Qualitäts- bzw. Quantitätskategorien

Standort:	Pinawa (Manitoba, Kanada)
Name - Typ:	Whiteshell - Untergrundlaboratorium (URL)
Lage:	ca. 12 km nördlich der Ortschaft Pinawa; ca. 120 km nordöstlich von Winnipeg
Betreiber:	AECL
Fläche:	Das spezielle Untersuchungsgebiet für das URL hat eine Größe von etwa 5 km ² .
Erschließung/ Teufenlage:	Der Zugang zu den Untertageeinrichtungen erfolgt über einen Schacht. In 240 m und 420 m Tiefe sind Tunnel für Untersuchungen untertage aufgefahen.
Geologie:	<p>Das URL liegt im Bereich des Lac-du-Bonnet-Batholithen, einem granitischen Pluton. Die prinzipiellen petrologischen Einheiten bestehen aus pinkfarbenen porphyritischen Graniten bis Granodioriten, mit z.T. biotitreichen Gneisphasen, xenolithführenden Graniten sowie grauen Granit-Quarz-Monzoniten (STEVENS, K. M. et al., 1995, Journal of Applied Geophysics). Der pinkfarbene Granit bildet den oberen Teil des Batholithen und weist zahlreiche, meist steil stehende Klüfte auf. Der graue Granit ist eher gleichförmig und hat fast keine steil stehenden Klüfte. Er bildet die Kernzone des Batholithen.</p> <p>Die Mächtigkeit der Lockerbedeckung variiert zwischen 0 und 15 m.</p>
Historie:	<p>Obwohl das Whiteshell-URL kein Endlager ist, wurde der Erkundungsprozess genauso angelegt, wie für die Erkundung eines potenziellen Endlagerstandortes. Die Erkundung erfolgte stufenweise über die Auswahl eines relativ großen in Frage kommenden Gebietes von mind. 400 km². Im Bereich des URL wurden 1980 Übersichtsmessungen durchgeführt, auf deren Basis das bevorzugte Standortgebiet bestimmt werden konnte. Im Fall des URL wurde im Vergleich zur üblichen Vorgehensweise ein kleineres Gebiet von nur ca. 5 km² (normal: ca. 25 km²) ausgewählt und dann sowohl von der Oberfläche als auch mit Bohrungen detailliert untersucht. Im Vergleich zur Suche eines Endlagerstandortes betrug auch die Erkundungstiefe im Fall des URL nur 500 m, anstatt der sonst angestrebten 1.000 m.</p> <p>Neben den Erkundungen von der Oberfläche aus wurde 1984 begonnen, das URL aufzufahren. Die Auffahrung dauerte bis 1990. Das URL wurde genutzt, um vorhandene Methoden zur Charakterisierung des Wirtsgesteins untertage zu testen bzw. neue Verfahren zu entwickeln.</p> <p>Die wesentlichen Erkundungsarbeiten waren bis etwa 1995 abgeschlossen.</p> <p>Alle im Zusammenhang mit dem URL und anderen Standorten durchgeführten Erkundungsarbeiten hatten das Ziel, Methoden zur Standortcharakterisierung von plutonischen Gesteinen im kanadischen Schild zu testen. Es war nicht das Ziel, einen geeigneten Standort zu finden. Nach Informationen aus dem Jahr 2007 ist auch nicht geplant, aus dem URL ein Endlager zu entwickeln.</p>

Whiteshell, Kanada**A Regionale Geologie (20 km x 20 km)**INFO:

Die Übersichtserkundung wurde 1980 durchgeführt und umfasste:

- die geologische Kartierung der Gesteinsausbisse
- die aero- und oberflächengeophysikalische Erkundung
- Bohrungen
- Probennahme
- die Instrumentierung einer Serie von flachen Bohrungen in der Lockergesteinsbedeckung
- Installationen zum Monitoring des Oberflächenwassers und der meteorologischen Daten

WRA (Whiteshell Research Area) entspricht dem Untersuchungsgebiet am Standort.

URL (Underground Research Area) entspricht dem Versuchsbereich untertage.

Stufenweise Erkundung:

1. Auswahl eines relativ großen in Frage kommenden Gebietes: mindestens 400 km²
 - Übersichtserkundungen wurden 1980 durchgeführt
2. Bestimmung des bevorzugten Standortgebietes: ca. 25 km²
 - umfasst Erkundung sowohl von der Oberfläche als auch von untertage sowie Bohrungen, deren Position durch die geologisch-geophysikalischen Ergebnisse festgelegt wird
 - im Gebiet werden „Grid-areas“ ausgewählt, die detaillierter untersucht werden; deren Ergebnisse werden für die Erstellung eines hydrogeologischen Modells verwendet
 - in den „Grid-areas“ wurden Bohrungen abgeteuft (Anzahl: 13, Tiefe 200 m bis 1.200 m); im Bohrloch erfolgten routinemäßig folgende geophysikalische Bohrlochmessungen: Bohrlochfernsehen, akustischer Televiwer, Temperatur der Bohrflüssigkeit, Eigenpotential, Ein-Elektroden-Widerstandsmessung, Thermal-Neutron, Widerstand der Bohrflüssigkeit, Widerstand 40-cm-Normale, natürliche Gammastrahlung, Gamma-Gamma-Dichte-Messung, Schallgeschwindigkeit und -amplitude, Kaliber \Rightarrow Reichweite der hier aufgezählten Verfahren: max. 0,15 - 0,3 m
 - mehr als 30 flache Bohrungen für hydrogeologische Untersuchungen
3. Festlegung des Standortes: ca. 5 km²
 - das Gebiet zur Erkundung des URL ist kleiner als üblich (ca. 5 km² statt sonst ca. 25 km²) und auch die Tiefenerstreckung ist geringer (nur ca. 500 m statt sonst 1.000 m), aber die Erkundung für das URL ist ein sehr gutes Beispiel für die Erkundung eines Endlagerstandortes (DAVISON et al. (1994a), S. 179)
 - die verschiedensten untertage eingesetzten Verfahren mussten häufig an die Bedingungen untertage angepasst werden
 - die gesamte Erkundung bis zur Festlegung des Standortes dauert mind. ca. 20 Jahre
 - siehe Tabellen S. 217 - 230

Tabelle für Bohrlochgeophysik (DAVISON et al. (1994a), Tab. 6-5, S.164)

A1 Wirtsgestein/Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)

Die Übersichtserkundung wurde 1980 durchgeführt und umfasste:

- geologischer Kartierung der Gesteinsausbisse
- aero- und oberflächengeophysikalische Erkundung
- Bohrungen
- Probennahme
- Instrumentierung einer Serie von flachen Bohrungen in der Lockergesteinsbedeckung
- Installationen zum Monitoring des Oberflächenwassers und der meteorologischen Daten

DAVISON et al. (1994a)

A1.1 Fernerkundung**A1.2 Geophysik (übertägig)**Seismik:

Entlang ausgewählter Profile wurden reflexionsseismische Messungen durchgeführt (keine Angaben zu den Messparametern). Es konnten spezielle Aussagen über große Störzonen und lithologische Variationen im Untergrund gewonnen werden.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 2 Quantität: 1

Quantität 1 ist eine unsichere Angabe, da keine genauen Zahlen angegeben wurden

Magnetik:

- Verwendung vorliegender Karten des totalen Magnetfeldes im Maßstab 1 : 1.000.000, zusammengestellt von Energy, Mines and Resources, Canada (EMR) für den gesamten Schild-Bereich
- Verwendung vorliegender aero-magnetischer Daten im Maßstab 1 : 250.000 und 1 : 50.000; die Daten wurden für das Whiteshell Research Area für eine Fläche von ca. 900 km² zusammengestellt

Die Daten wurden für die Suche und Abgrenzung des Plutonkörpers, die Bewertung der Homogenität, die Bewertung der geologischen Einordnung und zur Bestimmung der Bruchstrukturen verwendet.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 2 Quantität: 2

Gravimetrie:

- Verwendung vorliegender Karten der Bouguer-Schwere im Maßstab 1 : 1.000.000, zusammengestellt von Energy, Mines and Resources, Canada (EMR) für den gesamten Schild-Bereich
- auch Messungen entlang ausgewählter Profile
- Einsatz von 2D-Modellierungen für die Interpretation (TOMSONS et al. (1995))

Die gravimetrischen Ergebnisse wurden ebenso wie die magnetischen verwendet für die Suche und Abgrenzung des Plutonkörpers, die Bewertung der Homogenität, die Bewertung der geologischen Einordnung und zur Bestimmung der Bruchstrukturen.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 3 Quantität: 2

Geoelektrik / Elektromagnetik:

eingesetzte geoelektrische Methoden:

- Airborne EM (1 000 - 32 000 Hz)
- airborne Radar
- airborne VLF (ca. 24kHz)
- Audio-Magnetotellurik (AMT), CSAMT und Magnetotellurik (MT)
- Slingram-Messungen am Boden (EM36, Max-Min)
- Widerstandssondierungen
- Zeitbereichselektromagnetik (TDEM)

Der Einsatz der geoelektrischen Verfahren erfolgte für die Erkundung der Lockergesteinsüberdeckung, die Bestimmung deren Mächtigkeit, die Änderungen in Bodenstruktur, Tongehalt, Wassersättigung sowie Leitfähigkeit des Grundwassers (Grad der Mineralisation).

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 2 Quantität: 3

Radiometrie:

Aero-Gamma-Spektrometrie (Maßstab und Flächenüberdeckung nicht bekannt)

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 2 Quantität: unbekannt, geschätzt: 2

Für die regionale Erkundung wurden folgende Verfahren als sinnvoll eingeschätzt:

Verfahren	erzielbare Informationen
Aero-Geophysik: EM, VLF-EM	Variationen in der Lithologie, Erkennung großer struktureller Einheiten wie Störungen und Bruchzonen, Verteilung und Mächtigkeit der Lockerbedeckung
Aeromagnetik	Form, Tiefe und Grenzen des Plutons, Erkennung großer lithologischer Variationen, Identifizierung lithologisch oder geologisch bedingter Lineamente
Aero-Radiometrie	Begrenzung des Plutons
Gravimetrie	Form, Tiefe und Grenzen des Plutons sowie der umgebenden Gesteinseinheiten
Geoelektrik an der Oberfläche	große geologische Einheiten, lithologische Kontakte, Ortung größerer Störungszonen
Reflexionsseismik	große Störungszonen und lithologische Variationen im Untergrund

DAVISON et al. (1994a)

A1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**A1.4 Geol. Kartierung**

Geologische Kartierung der Oberfläche

CHANDLER (2003)

Überregional wurde von der AECL (Atomic Energy of Canada Limited) basierend auf verschiedenen Karten und Veröffentlichungen eine geologische Karte 1 : 1.000.000 erstellt.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 1 Quantität: 1

Es wurden geologische Karten im Maßstab 1 : 50.000 vom Geological Survey of Canada verwendet

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 3 Quantität: 2

A1.5 Bohrungen

19 Tiefbohrungen wurden in der Whiteshell Research Area (WRA, ca. 30 x 26 km) abgeteuft, 3 im Whiteshell Laboratory-Teilgebiet (WN, ca. 7 x 6 km), 4 im URL-Teilgebiet (ca. 2 x 2,5 km), 4 im WA-Teilgebiet (ca. 2 km²), 3 im WB-Teilgebiet (ca. 2 km²), 1 im WD-Teilgebiet (ca. 2 km²), 4 im WG-Teilgebiet (ca. 2 km²) und 1 im WJ-Teilgebiet (ca. 2 km²).

STEVENSON et al. (1996)

Mehr als 130 flache und tiefe Bohrungen sowie 7 tiefe Kernbohrungen im WAR-Bereich.

CHANDLER (2003)

Qualität: 3 Quantität: 1

A1.6 Feldmessungen - Geohydraulik**A1.7 Feldmessungen - Geochemie****A1.8 Feldmessungen - Geomechanik****A1.9 Labor****A1.10 Untertage Geophysik****A1.11 Untertage geol. Kartierung****A1.12 Untertage Bohrungen****A1.13 Untertage In-situ-Messungen****A1.14 Untertage Labor****A2 Stratigraphie****A2.1 Fernerkundung****A2.2 Geophysik (übertägig)****A2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A2.4 Geol. Kartierung****A2.5 Bohrungen****A2.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A2.7 Feldmessungen - Geochemie****A2.8 Feldmessungen - Geomechanik****A2.9 Labor****A2.10 Untertage Geophysik****A2.11 Untertage geol. Kartierung****A2.12 Untertage Bohrungen****A2.13 Untertage In-situ-Messungen****A2.14 Untertage Labor****A3 Strukturgeologie und Tektonik****A3.1 Fernerkundung**

- Nutzung von Satellitenaufnahmen mit Auflösungen von 120 m (Landsat) bis 10 m (SPOT-Satellit, Frankreich) bzw. 12,5 m (SAR-Bilder (Synthetic Aperture Radar) des ERS-1-Satelliten); sind flächendeckend für Kanada vorhanden
- Luftbildaufnahmen; flächendeckend in verschiedenen Maßstäben für den kanadischen Schild vorhanden

Die Ergebnisse wurden primär für die Erkennung von Lineamenten genutzt, z.B. Störungen, Bruchzonen oder Gänge. Sie sind auch nützlich für die Extrapolation von Strukturen, die bei Messungen an der Oberfläche in begrenzten Gebieten durchgeführt wurden. Hilfreich bei der Erkennung regionaler Strukturen.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: ? Quantität: ?

A3.2 Geophysik (übertägig)Seismik:

Reflexionsseismik für die strukturelle Erkundung (Tiefe von Grenzflächen, Störungserkundung); Messung entlang ausgewählter Profile

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 2 Quantität: 1

Quantität 1 ist eine unsichere Angabe, da keine genauen Zahlen angegeben wurden.

Magnetik:

aero-magnetische Messungen (s. A1.2)

Qualität: 2 Quantität: 2

Geoelektrik / Elektromagnetik

Verfahren s. A1.2

Qualität: 2 Quantität: 3

Einsatz der geoelektrischen Verfahren für Erkundung von Störungszonen (Problem bei den für tiefere Bereiche eingesetzten CSAMT und TDEM: zu geringe Auflösung in großer Tiefe).

DAVISON et al. (1994a)

A3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**A3.4 Geol. Kartierung****A3.5 Bohrungen****A3.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A3.7 Feldmessungen - Geochemie****A3.8 Feldmessungen - Geomechanik****A3.9 Labor****A3.10 Untertage Geophysik****A3.11 Untertage geol. Kartierung****A3.12 Untertage Bohrungen****A3.13 Untertage In-situ-Messungen****A3.14 Untertage Labor****A4 Regionales Spannungsfeld****A4.1 Fernerkundung****A4.2 Geophysik (übertägig)****A4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A4.4 Geol. Kartierung****A4.5 Bohrungen****A4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A4.7 Feldmessungen - Geochemie**

A4.8 Feldmessungen - Geomechanik**A4.9 Labor****A4.10 Untertage Geophysik****A4.11 Untertage geol. Kartierung****A4.12 Untertage Bohrungen****A4.13 Untertage In-situ-Messungen****A4.14 Untertage Labor****A5 Temperatur und Wärmeleitfähigkeit****A5.1 Fernerkundung****A5.2 Geophysik (übertägig)****A5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

Messung der Temperatur der Flüssigkeit im Bohrloch; mögliche Aussagen zum geothermischen Gradienten.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: ? Quantität: ?

A5.4 Geol. Kartierung**A5.5 Bohrungen****A5.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A5.7 Feldmessungen - Geochemie****A5.8 Feldmessungen - Geomechanik****A5.9 Labor****A5.10 Untertage Geophysik****A5.11 Untertage geol. Kartierung****A5.12 Untertage Bohrungen****A5.13 Untertage In-situ-Messungen****A5.14 Untertage Labor****A6 Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z. B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)****A6.1 Fernerkundung****A6.2 Geophysik (übertägig)****A6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A6.4 Geol. Kartierung****A6.5 Bohrungen****A6.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A6.7 Feldmessungen - Geochemie****A6.8 Feldmessungen - Geomechanik****A6.9 Labor****A6.10 Untertage Geophysik**

A6.11 Untertage geol. Kartierung**A6.12 Untertage Bohrungen****A6.13 Untertage In-situ-Messungen****A6.14 Untertage Labor****A7 Rohstoffvorkommen****A7.1 Fernerkundung****A7.2 Geophysik (übertägig)****A7.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A7.4 Geol. Kartierung****A7.5 Bohrungen****A7.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A7.7 Feldmessungen - Geochemie****A7.8 Feldmessungen - Geomechanik****A7.9 Labor****A7.10 Untertage Geophysik****A7.11 Untertage geol. Kartierung****A7.12 Untertage Bohrungen****A7.13 Untertage In-situ-Messungen****A7.14 Untertage Labor*****B Eigenschaften des Wirtsgesteins und des Deckgebirges am Standort*****B1 Lithologie/Stratigraphie****B1.1 Fernerkundung****B1.2 Geophysik (übertägig)**

Bei der Detailerkundung wurden die verschiedensten geophysikalischen Verfahren eingesetzt.

DAVISON et al. (1994a), S. 181, Fig. 7-2

Seismik:

Einsatz von Reflexionsseismik auf 3 Profilen (zw. 700 und 1.500 m Länge).

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 2 Quantität: 1

Quantität 1, da der Abstand zwar kleiner als 1 km, jedoch keine räumliche Interpretation auf der Basis der 3 Profile möglich ist.

Magnetik:

Messungen des magnetischen Totalfeldes auf N-S-Profilen mit 100 m Profilabstand (Gesamtlänge ca. 40.000 m).

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 2 Quantität: 3

Geoelektrik / Elektromagnetik

- VLF-EM, Widerstandsmessung mit Gradient-Anordnung (Gesamtlänge ca. 40.000 m)
- Local Loop VLF-EM (d.h. eigener Sender; ca. 15 Profile mit 500 bis 1.000 m Länge)
- Dipole-Dipole-Widerstandsmessungen (ca. 9 km auf 2 sich kreuzenden Profilen)
- 8 Widerstandssondierungen nach SCHLUMBERGER

Als sinnvoll erwiesen sich für die Charakterisierung der Geologie: VLF-EM-Neigungswinkelmessung, VLF-EM-Widerstandsmessung (speziell für Bestimmung von Verbreitung und Mächtigkeit der Lockergesteinsüberdeckung), magnetische Messungen, Widerstandsmessungen mit Gradienten-Anordnung sowie Widerstandssondierungen nach SCHLUMBERGER.

Aufgrund der gut leitfähigen Lockergesteinsbedeckung lieferten die meisten elektrischen Verfahren (Magnetotellurik, Widerstandsmessungen) keine sinnvollen Aussagen zu den Verhältnissen im Festgestein.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 2 Quantität: 3

B1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

- radiometrische Messungen (natürliche Gammastrahlung, Gamma-Gamma-Dichte-Messung, Neutron-Messung)
- geoelektrische Messungen (Eigenpotenzial, Ein-Pol-Widerstandsmessung, Widerstand 40-cm-Normale)
- Videobefahrung

Aussagen zur lithologischen Gliederung sowie Charakterisierung des Füllmaterials in den Störungen.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 2 Quantität: 2

B1.4 Geol. Kartierung

Eine erste Übersichtskartierung, u.a. zur Einstufung der Gesteinstypen, wurde in der Region innerhalb von 10 Tagen durchgeführt.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 1 Quantität: 3

Quantität: Abschätzung der Stufe 3, da für die Kartierung auf Karten im Maßstab 1 : 50.000 zurückgegriffen wurde und Detailkartierungen im Maßstab 1 : 16.000 erfolgten, kann von einem entsprechend großen Kartierungsmaßstab der Quantitätsstufe 3 ausgegangen werden.

Während der „Reconnaissance Scale Site Evaluation“ erfolgte eine regionalgeologische Kartierung zur Bestimmung der Lithologie des Plutons und der Kluftfüllungen im Maßstab 1 : 16.000 entlang von Querprofilen auf einer Fläche von 0,5 x 2 km. Während der detaillierten Kartierung der Grid-Areale wurden neben Xenolithen auch Pegmatite, Aplite und Quarzadern detailliert aufgenommen.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 1 Quantität: 3

B1.5 Bohrungen

Die Tiefbohrungen wurden mit Diamant-Kernbohrverfahren mit 76 mm Durchmesser und Dreifach-Kernrohr zur optimalen Kerngewinnung abgeteuft, um die Geologie möglichst lückenlos zu beschreiben; größere Bohrungen mit einem Durchmesser von 96 mm wurden für In-situ-Gebirgsspannungsmessungen verwendet; die Bohrspülung bestand aus Wässern der näheren Umgebung.

DAVISON et al. (1994a)

19 Tiefbohrungen wurden in der Whiteshell Research Area (WRA, ca. 30 x 26 km) abgeteuft, 3 im Whiteshell Laboratory-Teilgebiet (WN, ca. 7 x 6 km), 4 im URL-Teilgebiet (ca. 2 x 2,5 km), 4 im WA-Teilgebiet (ca. 2 km²), 3 im WB-Teilgebiet (ca. 2 km²), 1 im WD-Teilgebiet (ca. 2 km²), 4 im WG-Teilgebiet (ca. 2 km²) und 1 im WJ-Teilgebiet (ca. 2 km²).

STEVENSON et al. (1996)

Qualität: 3 Quantität: 1

B1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B1.7 Feldmessungen - Geochemie

B1.8 Feldmessungen - Geomechanik

B1.9 Labor

B1.10 Untertage Geophysik

B1.11 Untertage geol. Kartierung

Während der Schachtauffahrung wurden die Schachtwände und die aufgefahrene Basis täglich kartiert. Außerdem wurden Stereofotos aufgenommen.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 1 Quantität: 1 (mit der aufgefahrenen Basis eventuell 2)

B1.12 Untertage Bohrungen

Während der Schachtauffahrung wurden in 62, 185, 215, 249, 273, 282, 324, 352, 377 und 384 m Tiefe horizontale und geneigte kurze Bohrungen u.a. zur Aufnahme der Lithologie gebohrt. Während der Auffahrung wurden Proben des Kernmaterials der Schachtbohrungen genommen.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.13 Untertage In-situ-Messungen

B1.14 Untertage Labor

B2 Geometrie

B2.1 Fernerkundung

B2.2 Geophysik (übertägig)

siehe B1.2

Qualität: 2 Quantität: 1 (Seismik)

Qualität: 2 Quantität: 3 (Magnetik)

Qualität: 2 Quantität: 3 (Geoelektrik / Elektromagnetik)

B2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

- radiometrische Messungen (natürliche Gammastrahlung, Gamma-Gamma-Dichte-Messung, Neutron-Messung)
- geoelektrische Messungen (Eigenpotenzial, Ein-Pol-Widerstandsmessung, Widerstand 40-cm-Normale)
- Videobefahrung

Feststellung von Gesteinsgrenzen und der Tiefenlage der verschiedenen Einheiten.

DAVISON et al. (1994a), HILLARY & HAYLES (1985)

Qualität: 2 Quantität: 2

B2.4 Geol. Kartierung

Eine erste Übersichtskartierung, u.a. zur Erfassung der Raumlage der Gesteinstypen, wurde in der Region innerhalb von 10 Tagen durchgeführt.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 1 Quantität: 3

Quantität: Abschätzung der Stufe 3, da für die Kartierung auf Karten im Maßstab 1 : 50.000 zurückgegriffen wurde und Detailkartierungen im Maßstab 1 : 16.000 erfolgten, kann von einem entsprechend großen Kartierungsmaßstab der Quantitätsstufe 3 ausgegangen werden.

Während der „Reconnaissance Scale Site Evaluation“ regionalgeologische Kartierung zur Aufnahme der Größe und Geometrie des Plutons im Maßstab 1 : 16.000 entlang von Querprofilen auf einer Fläche von 0,5 x 2 km. In den Grid-Arealen wurde ergänzend auch die Geometrie detaillierter kartiert.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 1 Quantität: 3

B2.5 Bohrungen

19 Tiefbohrungen wurden in der Whiteshell Research Area (WRA, ca. 30 x 26 km) abgeteuft, 3 im Whiteshell Laboratory-Teilgebiet (WN, ca. 7 x 6 km), 4 im URL-Teilgebiet (ca. 2 x 2,5 km), 4 im WA-Teilgebiet (ca. 2 km²), 3 im WB-Teilgebiet (ca. 2 km²), 1 im WD-Teilgebiet (ca. 2 km²), 4 im WG-Teilgebiet (ca. 2 km²) und 1 im WJ-Teilgebiet (ca. 2 km²).

STEVENSON et al. (1996)

Qualität: 3 Quantität: 1

B2.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B2.7 Feldmessungen - Geochemie

B2.8 Feldmessungen - Geomechanik

B2.9 Labor

B2.10 Untertage Geophysik

B2.11 Untertage geol. Kartierung

Während der Schachtauffahrung wurden die Schachtwände und die aufgefahrene Basis täglich kartiert. Außerdem wurden Stereofotos aufgenommen.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 1 Quantität: 1 (mit der aufgefahrenen Basis eventuell 2)

B2.12 Untertage Bohrungen

Während der Schachtauffahrung wurden in 62, 185, 215, 249, 273, 282, 324, 352, 377 und 384 m Tiefe horizontale und geneigte kurze Bohrungen u.a. zur Aufnahme der Geometrie der Gesteinsbereiche gebohrt.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 3 Quantität: 2

B2.13 Untertage In-situ-Messungen**B2.14 Untertage Labor****B3 Makro-Struktur****B3.1 Fernerkundung**

Satellitengestützte Erkundung und Luftbildaufnahmen zur Einordnung der geophysikalisch detektierten Störungsmuster in das regionale Störungssystem.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: ? Quantität: ?

B3.2 Geophysik (übertägig)

siehe B1.2

Die Ergebnisse der seismischen Messungen waren schwer interpretierbar, wurden jedoch noch als hilfreich eingeschätzt.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 2 Quantität: 1 (Seismik)

Qualität: 2 Quantität: 3 (Magnetik)

Qualität: 2 Quantität: 3 (Geoelektrik / Elektromagnetik)

B3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

- akustischer TelevIEWer: Lage und Ausrichtung von Störungen und anderen Irregularitäten
- Videobefahrung: Lage und Ausrichtung von Störungen
- geophysikalische Standard-Logs: Ortung von Störungen
- Bohrlochradar: Erkundung von Störungszonen
- Bohrlochmessung zur Erkundung der EDZ; in Erkundungsbohrungen von den Auffahrungen aus, wurden die gleichen BLM-Tools eingesetzt wie in den Bohrungen von der Oberfläche aus (DAVISON et al. (1994a), S. 204)

Bohrlochgeophysik: konventionelle Logmessungen und Sonic, TelevIEWer und akustische TelevIEWer (TV/ATV) wurden in allen 40 Bohrungen, von denen 20 Tiefbohrungen mit Tiefen von 500 bis 1.000 m sind, im Granitbatholith verwendet, um Bruchstrukturen in einem Radius von 15 bis 20 m um die Bohrung zu erfassen; Bohrlochradar und seismische Tomographie zwischen Bohrlöchern wurde verwendet, um die Bruchstrukturen im Granit in einem Radius von 60 m um die Bohrung zu erfassen; Seismik zwischen Bohrungen.

LODHA et al. (1998, 2004)

Qualität: 3 Quantität: 2

B3.4 Geol. Kartierung

Im Bereich des WRA wurden Klüfte, Störungszonen und Gänge kartiert.

SYKES (2003)

Eine erste Übersichtskartierung, u.a. zur mesoskopischen Charakterisierung der auftretenden Klüfte und der zeitlichen tektonischen Entwicklung, wurde in der Region innerhalb von 10 Tagen durchgeführt

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 1 Quantität: 3

Quantität: Abschätzung der Stufe 3, da für die Kartierung auf Karten im Maßstab 1 : 50.000 zurückgegriffen wurde und Detailkartierungen im Maßstab 1 : 16.000 erfolgten, kann von einem entsprechend großen Kartierungsmaßstab der Quantitätsstufe 3 ausgegangen werden.

Während der „Reconnaissance Scale Site Evaluation“ regionalgeologische Kartierung zur Aufnahme der Faltung, der Kluftdichte, -orientierung und -länge des Plutons im Maßstab 1 : 16.000 entlang von Querprofilen auf einer Fläche von 0,5 x 2 km. In den Grid-Arealen wurden ergänzend die Orientierungen von Xenolithen, Foliationen, Schlieren, Störungen, Klüfte, Mikrorisse und -adern detailliert kartiert.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 2 Quantität: 3

B3.5 Bohrungen

19 Tiefbohrungen wurden in der Whiteshell Research Area (WRA, ca. 30 x 26 km) abgeteuft, 3 im Whiteshell Laboratory-Teilgebiet (WN, ca. 7 x 6 km), 4 im URL-Teilgebiet (ca. 2 x 2,5 km), 4 im WA-Teilgebiet (ca. 2 km²), 3 im WB-Teilgebiet (ca. 2 km²), 1 im WD-Teilgebiet (ca. 2 km²), 4 im WG-Teilgebiet (ca. 2 km²) und 1 im WJ-Teilgebiet (ca. 2 km²).

STEVENSON et al. (1996)

Qualität: 3 Quantität: 1

B3.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B3.7 Feldmessungen - Geochemie

B3.8 Feldmessungen - Geomechanik

B3.9 Labor

B3.10 Untertage Geophysik

- Bohrlochmessung zur Erkundung der EDZ (Auflockerungszone um die Auffahrung); in Erkundungsbohrungen, von den Auffahrungen aus, wurden die gleichen BLM-Tools eingesetzt wie in den Bohrungen von der Oberfläche aus

Seismik:

Einsatz der seismischen Tomografie zwischen zwei Bohrlöchern, Test verschiedener Inversionsalgorithmen (SIRT, ABIT - Areal Basis Inversion Technique); es wurde angegeben, dass Tomografie sinnvoll machbar ist, wenn die Bohrlöcher weniger als ca. 400 m Abstand haben (S. 163); Verwendung sehr hoher Frequenzen (0,5 bis 40 kHz); Einsatz spezieller, hochfrequenter, piezoelektrischer, keramischer Wandler; Daten über das Verhalten eines großen Gesteinsvolumens konnten mit mikro-seismischem Monitoring und cross hole-Seismik gewonnen werden

DAVISON et al. (1994a)

Cross hole-Seismik mit dem Mini-CHARTS-System mit Radien von 0,5 bis 60 m um die Bohrung wurde in der URL sub-area getestet, um die EDZ zu ermitteln; es wurde eine Region mit Mikrorissen und beschädigten Gesteinen im Bereich von etwa einem Meter um die Abbauoberfläche ermittelt.

HAYLES et al. (1995, 1999)

Qualität: 3 Quantität: 1

Georadar

- Einsatz von Bohrlochradar für die Erkundung des weiteren Bohrlochumfeldes (Sender-Empfänger-Abstand = 10 m fix); Reichweite: 60 bis 80 m; auch Einsatz als Bohrlochtomographie
- diese Verfahren wurden kontinuierlich während der Auffahrung der Schächte angewendet; Reichweite des Georadar im Granit bis ca. 100 m; Rx-Seismik von der 240-m-Sohle aus (Reichweite ca. 200 m)

DAVISON et al. (1994a), STREET et al. (1998)

- Reflexionsmessungen aus Einzelbohrlöchern und cross hole-Tomographie wurden von 7 Bohrungen aus in der 240-m-Sohle der URL sub-area mit dem RAMAC-System gemessen; Anomalien mit geringen Radargeschwindigkeiten entsprechen z.B. in der Bohrung MF12 einem Zufluss von ca. 22 l/min sowie Transmissivitäten von 10^{-6} bis 10^{-8} m²/s; hohe Radargeschwindigkeiten entsprechen z.B. in der Bohrung MF6 einem Fluss von ca. 0,5 bis 0,8 l/min und Transmissivitäten von 10 bis 12 m²/s.

SERZU et al. (2004)

Qualität: 2 Quantität: 2 - 3

B3.11 Untertage geol. Kartierung

B3.12 Untertage Bohrungen

Während der Schachtauffahrung wurden in 62, 185, 215, 249, 273, 282, 324, 352, 377 und 384 m Tiefe horizontale und geneigte kurze Bohrungen u. a. zur Aufnahme der tektonischen Elemente gebohrt.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 3 Quantität: 2

Die Bohrungen wurden in der URL sub-area verwendet, um die EDZ zu ermitteln.

HAYLES et al. (1995, 1999)

B3.13 Untertage In-situ-Messungen

B3.14 Untertage Labor

B4 Mikro-Struktur

B4.1 Fernerkundung

B4.2 Geophysik (übertägig)

B4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B4.4 Geol. Kartierung

B4.5 Bohrungen

Die Bohrungen (s. B1.5) wurden auch zur Erfassung der Mikro-Struktur verwendet. Die Bohrkerne wurden beprobt, um im Labor u.a. die Porenstruktur zu bestimmen.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 3 Quantität: 1

B4.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B4.7 Feldmessungen - Geochemie

B4.8 Feldmessungen - Geomechanik

B4.9 Labor

Die Bohrkerne wurden beprobt, um im Labor u.a. die Porenstruktur zu bestimmen.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: ? Quantität: ?

B4.10 Untertage Geophysik**B4.11 Untertage geol. Kartierung****B4.12 Untertage Bohrungen****B4.13 Untertage In-situ-Messungen****B4.14 Untertage Labor****B5 In-situ-Spannungsverhältnisse****B5.1 Fernerkundung****B5.2 Geophysik (übertägig)****B5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B5.4 Geol. Kartierung****B5.5 Bohrungen****B5.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B5.7 Feldmessungen - Geochemie****B5.8 Feldmessungen - Geomechanik****B5.9 Labor****B5.10 Untertage Geophysik****B5.11 Untertage geol. Kartierung****B5.12 Untertage Bohrungen****B5.13 Untertage In-situ-Messungen**

Nach DAVISON et al. (1994a) wurden sowohl Hydrofracmessungen zur Bestimmung von In-situ-Spannungsbedingungen durchgeführt als auch Spannungsmessungen mittels Overcoring-Methode. Die regional hohen Spannungen machten sowohl bei den Hydrofracs als auch Overcoringmessungen Probleme, besonders in Teufen > 300 m.

THOMPSON & CHANDLER (2004)

Bereits beim Abteufen des Schachtes wurden sowohl Overcoring-Spannungs-Messungen als auch Konvergenzmessungen (im Abstand von 10 m) durchgeführt. Zudem wurden Proben für gesteinsmechanische Untersuchungen genommen. In Bohrlöchern, ausgehend von den Shaft-Stationen, wurden ebenfalls Hydrofractests gemacht. Zudem wurden Kluftsysteme und Risse dokumentiert.

DAVISON et al. (1994a).

Qualität: 1 Quantität: 1

Da weder genaue Ziele, noch die Anzahl der Messungen und auch keine Messergebnisse dieser In-situ-Spannungsmessungen bekannt sind, können sowohl Qualität als auch Quantität nur mit 1 eingeschätzt werden.

B5.14 Untertage Labor**B6 Mineralogie****B6.1 Fernerkundung****B6.2 Geophysik (übertägig)****B6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B6.4 Geol. Kartierung****B6.5 Bohrungen**

B6.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B6.7 Feldmessungen - Geochemie****B6.8 Feldmessungen - Geomechanik****B6.9 Labor**

Die Mineralogie unterschiedlicher Gesteinstypen und -zonen wurde analysiert, ebenso von umgewandelten Gesteinen und Mineralen in den Kluffüllungen.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 1 Quantität: 1

Da weder genaue Ziele, noch Anzahl der Messungen und auch keine Messergebnisse dieser Versuche und Untersuchungen vorliegen, können sowohl Qualität als auch Quantität nur mit 1 eingeschätzt werden.

B6.10 Untertage Geophysik**B6.11 Untertage geol. Kartierung****B6.12 Untertage Bohrungen****B6.13 Untertage In-situ-Messungen****B6.14 Untertage Labor**

Die Mineralogie unterschiedlicher Gesteinstypen und -zonen wurde analysiert, ebenso von umgewandelten Gesteinen und Mineralen in Kluffüllungen.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 1 Quantität: 1

Da weder genaue Ziele, noch die Anzahl der Messungen und auch keine Messergebnisse dieser Versuche und Untersuchungen vorliegen, können sowohl Qualität als auch Quantität nur mit 1 eingeschätzt werden.

B7 Petrophysikalische Eigenschaften**B7a Gesteinsmechanik****B7a.1 Fernerkundung****B7a.2 Geophysik (übertägig)****B7a.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7a.4 Geol. Kartierung****B7a.5 Bohrungen****B7a.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7a.7 Feldmessungen - Geochemie****B7a.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7a.9 Labor**

Die Bohrkerns (s. B1.5) wurden beprobt, um im Labor u.a. die Festigkeit und die Elastizität zu bestimmen. So wurden u.a. Triaxialtests an Kernmaterial und weiteren gewonnenen Gesteinsproben durchgeführt.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 1 Quantität: 1

Da weder genaue Ziele, noch die Anzahl der Messungen und auch keine Messergebnisse dieser Versuche und Untersuchungen vorliegen, können sowohl Qualität als auch Quantität nur mit 1 eingeschätzt werden.

B7a.10 Untertage Geophysik**B7a.11 Untertage geol. Kartierung****B7a.12 Untertage Bohrungen****B7a.13 Untertage In-situ-Messungen****B7a.14 Untertage Labor****B7b Hydraulisch (z. B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)****B7b.1 Fernerkundung****B7b.2 Geophysik (übertägig)****B7b.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7b.4 Geol. Kartierung****B7b.5 Bohrungen****B7b.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7b.7 Feldmessungen - Geochemie****B7b.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7b.9 Labor**

Die Bohrkerne (s. B1.5) wurden beprobt, um im Labor u.a. die Porosität und Permeabilität zu bestimmen.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 1 Quantität: 1

Da weder genaue Ziele, noch die Anzahl der Messungen und auch keine Messergebnisse dieser Versuche und Untersuchungen vorliegen, können sowohl Qualität als auch Quantität nur mit 1 eingeschätzt werden.

B7b.10 Untertage Geophysik**B7b.11 Untertage geol. Kartierung****B7b.12 Untertage Bohrungen****B7b.13 Untertage In-situ-Messungen****B7b.14 Untertage Labor****B7c Diffusion****B7c.1 Fernerkundung****B7c.2 Geophysik (übertägig)****B7c.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7c.4 Geol. Kartierung****B7c.5 Bohrungen****B7c.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

B7c.7 Feldmessungen - Geochemie**B7c.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7c.9 Labor****B7c.10 Untertage Geophysik****B7c.11 Untertage geol. Kartierung****B7c.12 Untertage Bohrungen****B7c.13 Untertage In-situ-Messungen****B7c.14 Untertage Labor****B7d Thermisch****B7d.1 Fernerkundung****B7d.2 Geophysik (übertägig)****B7d.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7d.4 Geol. Kartierung****B7d.5 Bohrungen****B7d.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7d.7 Feldmessungen - Geochemie****B7d.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7d.9 Labor**

Die Bohrkerne (s. B1.5) wurden beprobt, um im Labor u.a. die thermischen Eigenschaften zu bestimmen.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 1 Quantität: 1

Da weder genaue Ziele, noch die Anzahl der Messungen und auch keine Messergebnisse dieser Versuche und Untersuchungen vorliegen, können sowohl Qualität als auch Quantität nur mit 1 eingeschätzt werden.

B7d.10 Untertage Geophysik**B7d.11 Untertage geol. Kartierung****B7d.12 Untertage Bohrungen****B7d.13 Untertage In-situ-Messungen****B7d.14 Untertage Labor****B7e THMC-Kopplung****B7e.1 Fernerkundung****B7e.2 Geophysik (übertägig)****B7e.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7e.4 Geol. Kartierung****B7e.5 Bohrungen****B7e.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7e.7 Feldmessungen - Geochemie****B7e.8 Feldmessungen - Geomechanik**

B7e.9 Labor**B7e.10 Untertage Geophysik****B7e.11 Untertage geol. Kartierung****B7e.12 Untertage Bohrungen****B7e.13 Untertage In-situ-Messungen****B7e.14 Untertage Labor****B7f Chemische Eigenschaften (z. B. Oxidation, Adsorption)****B7f.1 Fernerkundung****B7f.2 Geophysik (übertägig)****B7f.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7f.4 Geol. Kartierung****B7f.5 Bohrungen****B7f.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7f.7 Feldmessungen - Geochemie****B7f.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7f.9 Labor**

Die Bohrkern (s. B1.5) wurden beprobt, um im Labor u.a. die geochemischen Eigenschaften zu bestimmen.

DAVISON et al. (1994a).

Qualität: 1 Quantität: 1

Da weder genaue Ziele, noch die Anzahl der Messungen und auch keine Messergebnisse dieser Versuche und Untersuchungen vorliegen, können sowohl Qualität als auch Quantität nur mit 1 eingeschätzt werden.

Proben von Oberflächengesteinen und Bohrkernen (in 150 und 730 m Tiefe) wurden analysiert, um Indikatoren für die Veränderungen in der Nähe von Klüften zu ermitteln: REEs, U/Th, $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{\text{tot}}$.

GASCOYNE & CRAMER (1987)

B7f.10 Untertage Geophysik**B7f.11 Untertage geol. Kartierung****B7f.12 Untertage Bohrungen****B7f.13 Untertage In-situ-Messungen****B7f.14 Untertage Labor*****C Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)*****C1 Hydraulisch wirksame Einheiten****C1.1 Fernerkundung****C1.2 Geophysik (übertägig)**

C1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

- Messung der Temperatur der Flüssigkeit im Bohrloch; Aussagen zu Bereichen mit Grundwasserzu- und -abflüssen im Bohrloch
- Messung der Fließbewegung der Flüssigkeit zur Ortung von Bereichen erhöhter Permeabilität

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 2 Quantität: 2

C1.4 Geol. Kartierung

Aufnahme der Lage von Quellen, Versickerungszonen und Abschätzung der Permeabilität der anstehenden Gesteine.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 1 Quantität: 3

Quantität: Abschätzung der Stufe 3, da für die Kartierung auf Karten im Maßstab 1 : 50.000 zurückgegriffen wurde und Detailkartierungen im Maßstab 1 : 16.000 erfolgten, kann von einem entsprechend großen Kartierungsmaßstab der Quantitätsstufe 3 ausgegangen werden.

C1.5 Bohrungen

Allgemein:

Zwei bis drei der ersten Bohrungen wurden ausgewählt, um in festgelegten Intervallen hydrogeologische Untersuchungen durchzuführen.

DAVISON et al. (1994a)

19 Tiefbohrungen wurden in der Whiteshell Research Area (WRA, ca. 30 x 26 km) abgeteuft, 3 im Whiteshell Laboratory-Teilgebiet (WN, ca. 7 x 6 km), 4 im URL-Teilgebiet (ca. 2 x 2,5 km), 4 im WA-Teilgebiet (ca. 2 km²), 3 im WB-Teilgebiet (ca. 2 km²), 1 im WD-Teilgebiet (ca. 2 km²), 4 im WG-Teilgebiet (ca. 2 km²) und 1 im WJ-Teilgebiet (ca. 2 km²).

STEVENSON et al. (1996)

Qualität: 3 Quantität: 1

32 Bohrungen mit Tiefen über 250 m - 14 davon mit Tiefen von 500 bis 1.000 m - wurden gebohrt, um hydrogeologische Messungen, Grundwasserprobenahmen und Monitoring zur Charakterisierung des weiträumigen Grundwasserströmungssystems durchzuführen.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 3 Quantität: 1

Qualität: Abschätzung der Stufe 3, da keine Hinweise auf Schlagbohrungen vorliegen und so davon ausgegangen wird, dass die Bohrungen ebenfalls Kernbohrungen sind.

C1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

Zur Ermittlung der Permeabilität, ihrer räumlichen Variationen und den Ausbreitungsgrenzen sowie der Porosität wurden in Bohrungen Intervalle mit aufblasbaren Gummipackern abgepackert und Messungen durchgeführt.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 3 Quantität: 1 (Mindestquantität angenommen)

Der Einsatz von Multipackern, die direkt nach dem Bohren eingebaut werden, erlaubt einen individuell auf die jeweilige Bohrung abgestimmten Ausbau. Dabei kann verhindert werden, dass es zu Mischungen der Wässer aus unterschiedlichen Stockwerken im Bohrloch kommt.

DAVISON et al. (1994a)

Messungen wurden sowohl in Form von Einbohrloch-Methoden (zur Ermittlung der hydrogeologischen Eigenschaften in geklüfteten und ungeklüfteten Bereichen entlang des Bohrlochs) sowie in Bohrungsgruppen (gewöhnlich in geklüfteten Bereichen) durchgeführt.

DAVISON et al. (1994a)

Die Änderung der Permeabilität im Bereich von einigen hundert Metern um eine Bohrung wurde mit Messungen, die von mehreren Stunden bis zu mehreren Tagen oder Wochen dauerten, in Bohrungen oder Grundwassermessstellen-Gruppen (GWM-Gruppen) ermittelt.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 3 Quantität: 1 (Mindestquantität angenommen)

C1.7 Feldmessungen - Geochemie

C1.8 Feldmessungen - Geomechanik

C1.9 Labor

C1.10 Untertage Geophysik

C1.11 Untertage geol. Kartierung

Grundwasser-Zusickerraten wurden während des Schachtbaus ermittelt.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 1 Quantität: 1

C1.12 Untertage Bohrungen

Die vom Schacht ausgehenden Bohrungen wurden für hydrogeologische Messungen mit Multipackern ausgerüstet. Zur genaueren Erfassung der hydrogeologischen Kenndaten im untertägigen Testbereich der 240-m-Sohle wurden zusätzliche Horizontalbohrungen gebohrt.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 2 Quantität: 1 (Mindestwerte angenommen)

C1.13 Untertage In-situ-Messungen

In den vom Schacht ausgehenden Bohrungen und im Schacht werden Grundwasserzuflüsse gemessen.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 1 Quantität: 1 (Mindestwerte angenommen)

C1.14 Untertage Labor

C2 Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein

C2.1 Fernerkundung

C2.2 Geophysik (übertägig)

C2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

C2.4 Geol. Kartierung

C2.5 Bohrungen

C2.6 Feldmessungen - Geohydraulik*Allgemein:*

Porenwasserdrücke wurden in gepackerten Bohrlochintervallen gemessen.

STEVENSON et al. (1996)

Die Einbohrloch-Messungen zur Änderung des Porenwasserdrucks wurden jeweils nur für wenige Stunden in einer Bohrung durchgeführt. Zur Ermittlung der natürlichen Grundwasserdruckbedingungen wurden in den Bohrungen Intervalle mit aufblasbaren Gummipackern isoliert.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 3 Quantität: 1 (Mindestquantität angenommen)

Messungen, die an mehreren Bohrungen oder Grundwassermessstellengruppen u.a. zur Ermittlung des Porenwasserdrucks durchgeführt wurden, liefen von mehreren Stunden bis zu mehreren Tagen oder Wochen. Zur Ermittlung der natürlichen Grundwasserdruckbedingungen wurden in den Bohrungen Intervalle mit aufblasbaren Gummipackern isoliert.

DAVISON et al. (1994a)

Hydrogeologische Tests wurden unter Verwendung verschiedener Methoden (s. C3.6) durchgeführt:

- offene Standrohrspiegelhöhe in 4 Bohrungen (max. 643 m tief) mit 4 Intervallen von 51 bis 122 m Länge)

STEVENSON et al. (1996)

Qualität: 1 Quantität: 1

C2.7 Feldmessungen - Geochemie**C2.8 Feldmessungen - Geomechanik****C2.9 Labor****C2.10 Untertage Geophysik****C2.11 Untertage geol. Kartierung****C2.12 Untertage Bohrungen****C2.13 Untertage In-situ-Messungen**

Porenwasserdrücke werden kontinuierlich in den vom Schacht ausgehenden Bohrungen ermittelt.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 3 Quantität: 3

C2.14 Untertage Labor**C3 Fließ- und Speicherparameter****C3.1 Fernerkundung****C3.2 Geophysik (übertägig)****C3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C3.4 Geol. Kartierung****C3.5 Bohrungen**

C3.6 Feldmessungen - Geohydraulik

Hydrogeologische Tests wurden unter Verwendung verschiedener Methoden durchgeführt:

1. Straddlepacker (Doppelpackersystem): Injektion mit konstantem Druck in 6 Bohrungen (max. 883 m tief) mit 26 Intervallen von 0,6 bis 400 m Länge)

Qualität: 2 Quantität: 1

2. Straddlepacker-Pulstest in 4 Bohrungen (max. 860 m tief) mit 5 Intervallen von 1,8 bis 400 m Länge

Qualität: 2 Quantität: 1

Offene Standrohrspiegelhöhe in 4 Bohrungen (max. 643 m tief) mit 4 Intervallen von 51 bis 122 m Länge), siehe C2.6

Qualität: 1 Quantität: 1

3. Westbay Druckaufbau-Test (1 Intervall von 33 m Länge in einer Tiefe von 95 m)

Qualität: 2 Quantität: 1

STEVENSON et al. (1996)

Tracer-Tests in GWM-Gruppen wurden auch zur Bestimmung der Porosität, der Permeabilität und des Dispersions-Charakters in Störungszonen angewendet.

DAVISON et al. (1994a)

Qualität: 1 Quantität: 1 (Mindestquantität angenommen)

C3.7 Feldmessungen - Geochemie**C3.8 Feldmessungen - Geomechanik****C3.9 Labor****C3.10 Untertage Geophysik****C3.11 Untertage geol. Kartierung****C3.12 Untertage Bohrungen****C3.13 Untertage In-situ-Messungen***Allgemein:*

Im URL wurden verschiedene In-situ-Messungen durchgeführt, um eine statistisch belastbare Datenbasis zur Ausbreitung der Porenwässer in den gering durchlässigen Graniten zu erhalten. Damit sollen eventuelle Skalenabhängigkeiten und Anisotropien ermittelt werden. Außerdem soll der Einfluss des Gesteinsgefüges, der Porenstruktur, der Mineralogie, der Kluffüllungen und Spannungsverteilungen auf die Ausbreitung der Porenwässer anhand dieser Daten untersucht werden.

RUSSELL et al. (2001)

Grundwasserfluss- und Transportdaten wurden bei Experimenten in den gering geklüfteten Graniten des URL erhoben.

RUSSELL et al. (2001)

Messungen an offenen Bohrungen:

Messung der Versickerung in 7 offenen Bohrungen, die in der 420-m-Sohle der URL sub-area gebohrt wurden, um die Permeabilitäten zu bestimmen; die resultierenden Permeabilitäten waren niedriger als die in den oberflächennahen Tests.

STEVENSON et al. (1996)

Qualität: 2 Quantität: 1

C3.14 Untertage Labor**C4 Zwei-Phasenflussparameter****C4.1 Fernerkundung****C4.2 Geophysik (übertägig)****C4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C4.4 Geol. Kartierung****C4.5 Bohrungen****C4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****C4.7 Feldmessungen - Geochemie****C4.8 Feldmessungen - Geomechanik****C4.9 Labor****C4.10 Untertage Geophysik****C4.11 Untertage geol. Kartierung****C4.12 Untertage Bohrungen****C4.13 Untertage In-situ-Messungen****C4.14 Untertage Labor*****D Hydrochemie*****D1 Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)****D1.1 Fernerkundung****D1.2 Geophysik (übertägig)****D1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D1.4 Geol. Kartierung****D1.5 Bohrungen****D1.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D1.7 Feldmessungen - Geochemie****D1.8 Feldmessungen - Geomechanik****D1.9 Labor**

Bohrungswasser mit Rhodamin-WT-Tracer; nach dem Bohren wurden Bohrlöcher mit Luft und/oder mechanisch gereinigt; aufblasbare PIP-Packer oder Westbay-Systeme wurden installiert; Probenahme aus gepackerten Intervallen erfolgte über Druckluft- oder Elektrikpumpen, einige Langzeitpumpversuche wurden durchgeführt.

GASCOYNE et al. (1987)

- Grundwasserproben aus 86 gepackten Intervallen in 53 Bohrungen im geklüfteten Festgestein sowie 28 Grundwasserproben aus flachen Grundwassermessstellen im Deckgebirge wurden zur Bestimmung des Wasseralters auf Isotopen von O, H und C hin analysiert.

GASCOYNE (2004)

- Grundwasserproben wurden auf Isotopengehalte von O, H und C hin analysiert ebenso auf ^{36}Cl , He und Ne, Konzentrationen gelöster Gase und Isotopenverhältnisse.

KOTZER et al. (1998)

Die Grundwasserproben wurden im Labor mit unterschiedlichen Methoden analysiert:

- Wasser- und Sauerstoffisotope: Massenspektrometer, Flüssigkeits-Szintillationszähler
- Kohlenstoffisotope: Massenspektrometer, Flüssigkeits-Szintillationszähler, AMS
- Chlorisotope: AMS

DAVISON et al. (1994b)

$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ & $^2\text{H}/^1\text{H}$:	Qualität: 3	Quantität: 2
^{14}C & $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$:	Qualität: 3	Quantität: 2
^{36}Cl :	Qualität: 3	Quantität: 1
^4He :	Qualität: 3	Quantität: 1
^3H :	Qualität: 3	Quantität: 3

Quantitäten wurden für den „URL-Standort“ von 5 km² sowie eine Tiefe von 1.000 m eingeschätzt. Die beprobten Bohrungen (B, M, URL Reihen) waren meist im „URL-Standort“. Die W-Reihe von Bohrungen wurde vorher in verschiedenen Bereichen der gesamten „Whiteshell Research Area“ (≈780 km²) niedergebracht.

D1.10 Untertage Geophysik

D1.11 Untertage geol. Kartierung

D1.12 Untertage Bohrungen

D1.13 Untertage In-situ-Messungen

D1.14 Untertage Labor

Sickerwässer der aufwärts gerichteten Bohrungen in der 420-m-Sohle wurden auf die Jod-Isotopenverhältnisse hin analysiert.

GASCOYNE (2004)

D2 Porenwasserchemismus

D2.1 Fernerkundung

D2.2 Geophysik (übertägig)

D2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

D2.4 Geol. Kartierung

D2.5 Bohrungen

D2.6 Feldmessungen - Geohydraulik

D2.7 Feldmessungen - Geochemie

Hydrochemische Daten wurden von allen beprobten Bohrungen ermittelt. Die Parameter sind: Salinität/TDS, Haupt- und Nebenelementkonzentrationen sowie Eh- und pH-Werte.

DAVISON et al. (1994b)

Eh- und pH -Werte wurden in Durchflusszellen an der Oberfläche während der Pumpphase über 3 bis 4 Tage gemessen, Eh stabilisierte sich nach einigen Tagen, pH-Werte variieren weniger.

GASCOYNE (1997, 2004)

Eh: Qualität: 3 Quantität: 2
pH: Qualität: 3 Quantität: 3
EC: Qualität: 3 Quantität: 2

Quantitäten wurden für den „URL-Standort“ von 5 km² sowie eine Tiefe von 1.000 m eingeschätzt. Die beprobten Bohrungen (B, M, URL Reihen) waren meist im „URL-Standort“. Die W-Reihe von Bohrungen wurde vorher in verschiedenen Bereichen der gesamten „Whiteshell Research Area“ (≈780 km²) niedergebracht.

D2.8 Feldmessungen - Geomechanik

D2.9 Labor

Grundwasserproben wurden aus gepackerten Intervallen der 107 m tiefen Bohrung WN-3 über zwei Kluftzonen in 37 und 90 m Tiefe genommen; Wasserproben wurden auch aus der 475 m tiefen offenen Bohrung WN-1 mit Kluftzonen in 133 m Tiefe genommen.

BOTTOMLEY et al. (1980)

Grundwasserproben zur Laboranalyse wurden im Zeitraum von 1982 bis 1991 aus 86 gepackten Intervallen in 53 Bohrungen in geklüftetem Festgestein sowie 28 Grundwasserproben aus flachen Grundwassermessstellen (GWM) im Deckgebirge genommen:

1. Proben aus 10 Intervallen in 6 WB-Serien-Bohrungen (max. Probentiefe 123 m)
2. Proben aus 30 Intervallen in 14 M-Serien-Bohrungen (max. Probentiefe 410 m)
3. Proben aus 23 Intervallen in 16 URL-Serien-Bohrungen (max. Probentiefe 780 m)
4. Proben aus 15 Intervallen in 7 WA-WG-Serien-Bohrungen (max. Probentiefe 1.000 m)
5. Proben aus 8 Intervallen in 6 WN-Serien-Bohrungen (max. Probentiefe 1.000 m)

Ebenso wurden von 1987 bis 1990 Proben aus 28 Intervallen in 12 O-Serien-GWM im Deckgebirge analysiert. Einige Bereiche wurden im Zeitraum von über zehn Jahren mehrfach beprobt, pH- und Eh-Werte wurden in Durchflusszellen an der Oberfläche während der Pumpphase über 3 bis 4 Tage gemessen, Eh stabilisierte sich nach einigen Tagen, pH-Werte variieren weniger.

GASCOYNE (2004)

Bohrungswasser mit Rhodamin-WT-Tracer; nach dem Bohren wurden die Bohrlöcher mit Luft und/oder mechanisch gereinigt; aufblasbare PIP-Packer oder Westbay-Systeme wurden installiert; Probenahme aus gepackten Intervallen erfolgte über Druckluft- oder Elektrikpumpen, einige Langzeitpumpversuche wurden durchgeführt.

GASCOYNE et al. (1987)

In einem ersten Schritt wurden Quellen und Sickerwasserzonen beprobt, um den Chemismus des Grundwasserabflusses zu erfassen und Bereiche zu lokalisieren, in denen der GW-Abfluss aus tief liegenden Grundwasserleitern stammt.

DAVISON et al. (1994b)

Die Grundwasserproben für die Laboranalysen wurden in unterschiedlichen Probengefäßen abgefüllt und konserviert. Analyse auf: Anionen, Kationen, Spurenelemente, gelösten organischen Kohlenstoff (DOC), Wasser- und Sauerstoffisotope, Kohlenstoffisotope, Schwefelisotope, Chlorisotope, Strontiumisotope, Uran- und Radiumisotope, Radon, gelöste Gase, gelöste Edelgase.

DAVISON et al. (1994b)

Grundwasserproben wurden hydrochemisch analysiert (Hauptionen, Spurenelemente mit F, NO₃, I, B, Li, V, Al, DOC, Kolloide sowie OHCS und Sr, ³⁶Cl, ¹²⁹I, U, Ra, He, Ne Isotope und gelöste Gase. Die Matrixwasser-Zusammensetzung wurde durch Elution zerkleinerter Proben abgeschätzt.

GASCOYNE (2004)

Wasserproben aus privaten Brunnen und AECL-Untersuchungsbohrungen in der URL sub-area wurden auf U und Ra hin analysiert, um das Redoxverhalten, die Effekte des DOC und die Kolloide zu ermitteln.

GASCOYNE (1989)

Die Grundwasserproben wurden im Labor mit unterschiedlichen Methoden analysiert.

- Anionen: Titration, Ionenchromatographie, Kolorimetrie
- Kationen: ICPS, Flammen-AAS
- Spurenelemente: ICPS, Kolorimetrie
- gelöster organischer Kohlenstoff (DOC): Infrarotanalyse
- Schwefelisotope: Massenspektrometer
- Strontiumisotope: Massenspektrometer
- Uran- und Radiumisotope: AS
- Radon: Flüssigkeits-Szintillationszähler
- gelöste Gase: Massenspektrometer
- gelöste Edelgase: Massenspektrometer

DAVISON et al. (1994)

HCO ₃ /Alkalinität:	Qualität: 2	Quantität: 2
Redox-sensitive solutes:	Qualität: 2	Quantität: 3
Major solutes:	Qualität: 3	Quantität: 2
Trace elements:	Qualität: 3	Quantität: 3
Dissolved gases:	Qualität: 3	Quantität: 3
U-, Th-, Ra-, Rn-Isotopen:	Qualität: 3	Quantität: 3

Quantitäten wurden für den „URL-Standort“ von 5 km² sowie eine Tiefe von 1.000 m eingeschätzt. Die beprobten Bohrungen (B, M, URL Reihen) waren meist im „URL-Standort“. Die W-Reihe von Bohrungen wurde vorher in verschiedenen Bereichen der gesamten „Whiteshell Research Area“ (≈780 km²) niedergebracht.

D2.10 Untertage Geophysik

D2.11 Untertage geol. Kartierung

D2.12 Untertage Bohrungen

D2.13 Untertage In-situ-Messungen

D2.14 Untertage Labor

Aufwärts gerichtete Bohrungen in der 420-m-Sohle wurden gepackert, um Sickerwässer zu sammeln.

GASCOYNE (2004)

Während der Schachtauffahrung wurden regelmäßig Proben an allen Zusickerungsstellen genommen. Nach der Fertigstellung des Schachtes wurden segmentweise Ringe angebracht, in denen die Sickerwässer für Beprobungen gesammelt werden.

DAVISON et al. (1994b)

In den mit Multipackern ausgebauten Bohrungen, die von der Schachtwand ausgehen, wurden Proben für hydrochemische Analysen genommen.

DAVISON et al. (1994b)

Sickerwässer wurden in offenen Bohrungen der 240-m-Sohle in der URL sub-area beprobt; Sickerwässer in aufwärts gerichteten Bohrungen der 420-m-Sohle in der URL sub-area wurden mit Packern gesammelt.

GASCOYNE (1997, 2004)

Sickerwässer der offenen Bohrungen der 240-m-Sohle in der URL sub-area wurden beprobt; Sickerwässer in aufwärts gerichteten Bohrungen der 420-m-Sohle in der URL sub-area wurden analysiert.

GASCOYNE (1997, 2004)

Eh, pH: Qualität: 3 Quantität: 1 (Mindestquantität angenommen)

Wasseranalysen: Qualität: 3 Quantität: 1 (Mindestquantität angenommen)

D3 Transporteigenschaften

D3.1 Fernerkundung

D3.2 Geophysik (übertägig)

D3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

D3.4 Geol. Kartierung

D3.5 Bohrungen

D3.6 Feldmessungen - Geohydraulik

D3.7 Feldmessungen - Geochemie

D3.8 Feldmessungen - Geomechanik

D3.9 Labor

D3.10 Untertage Geophysik

D3.11 Untertage geol. Kartierung

D3.12 Untertage Bohrungen

D3.13 Untertage In-situ-Messungen

In-situ-Diffusions-Experimente wurden in der URL sub-area durchgeführt; Labormessungen waren systematisch größer für D, zur Diffusion verfügbare Porosität und Permeabilität mit zunehmender Tiefe (d.h. Effekt der Spannungsentlastung).

VILKS et al. (2004)

D3.14 Untertage Labor

D4 Kolloide usw.

D4.1 Fernerkundung

D4.2 Geophysik (übertägig)

D4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

D4.4 Geol. Kartierung

D4.5 Bohrungen

D4.6 Feldmessungen - Geohydraulik

D4.7 Feldmessungen - Geochemie

D4.8 Feldmessungen - Geomechanik

D4.9 Labor

Grundwasserproben wurden an den Bohrungen auch zur Bestimmung des Kolloidinhalts im Labor genommen.

DAVISON et al. (1994b)

Kolloide wurden durch Filtration mit zwei Porengrößen von 0,01 bis 0,45 µm sowie 0,001 bis 0,01 µm beprobt.

VILKS & BACHINSKI (1997)

Kolloidkonzentrationen wurden im Ultrafein-Partikelgrößen-Analysegerät (UPA) gemessen.

VILKS & BACHINSKI (1997)

D4.10 Untertage Geophysik**D4.11 Untertage geol. Kartierung****D4.12 Untertage Bohrungen****D4.13 Untertage In-situ-Messungen****D4.14 Untertage Labor****ZITATE**

(Elektronische Versionen folgender Zitate befinden sich auf dem beiliegenden Datenträger)

*BOTTOMLEY, D., GRAHAM, B. & ROSS, J. (1980): Investigations into the geochemistry of groundwater in Precambrian crystalline rocks. Technical Record TR-122, Atomic Energy of Canada Limited (AECL), Pinawa, Canada.

*CHANDLER, N. A. (2003): Twenty years of underground research at Canada's URL. Proceedings of Waste Management Conference WM'03, Tucson, USA.

*DAVISON, C. C., BROWN, A., EVERITT, R. A., GASCOYNE, M., KOZAK, E. T., LODHA, G. S., MARTIN, C. D., SOONAWALA, N. M., STEVENSON, D. R., THORNE, G. A. & WHITAKER, S. H. (1994a): The Disposal of Canada's Nuclear Fuel Waste: Site screening and Site Evaluation Technology; Report AECL-10713, Whiteshell Laboratories Pinawa, Manitoba, Canada.

*DAVISON, C. C., CHAN, T., BROWN, A., GASCOYNE, M., KAMINENI, D. C., LODHA, G. S., MELNYK, T. W., NAKKA, B. W., O'CONNOR, P. A., OPHORI, D. U., SCHEIER, N. W., SOONAWALA, N. M., STANCHELL, F. W., STEVENSON, D. R., THORNE, G. A., VANDERGRAAF, T. T., VILKS, P. & WHITAKER, S. H. (1994b): The Disposal of Canada's Nuclear Fuel Waste: The Geosphere Model for Postclosure Assessment. Report AECL-10719, AECL, Pinawa, Canada ('Evolution of the Geosphere' chapter and 'Groundwater Geochemistry' appendix A).

*GASCOYNE, M. & CRAMER, J. J. (1987): History of actinide and minor element mobility in an Archean granitic batholith in Manitoba, Canada. Applied Geochemistry 2, 37-53.

*GASCOYNE, M. (1989): High levels of uranium and radium in groundwaters at Canada's Underground Research Laboratory, Lac du Bonnet, Manitoba, Canada. Applied Geochemistry 4, 577-591.

*GASCOYNE, M. (1997): Evolution of redox conditions and groundwater composition in recharge-discharge environments on the Canadian Shield. Hydrogeology Journal 5.3, 4-18.

*GASCOYNE, M. (2004): Hydrogeochemistry, groundwater ages and sources of salts in a granitic batholith on the Canadian Shield, southeastern Manitoba. Applied geochemistry 19, 519-560.

*HAYLES, J. G., SERZU, M. H., TOMSON, D. K., EVERITT, G. S. & LODHA, G. S. (1995): Cross-hole seismic and single-hole geophysical surveys for characterizing an area of moderately fractured granite. AECL Technical Report TR-696, COG-95-310.

*HAYLES, J. G., EVERITT, R. A. & WOODCOCK, D. R. (1999): A 15 kHz cross-hole seismic survey across a fracture at the AECL Underground Research Laboratory. Canadian Journal of Earth Sciences 36, 1517-1532.

- *HILLARY, E. M. & HAYLES, J. G. (1985): Correlation of lithology and fracture zones with geophysical borehole logs in plutonic rocks. AECL Technical Record TR-00343.
- LODHA, G. S., DAVISON, C. C., & GASCOYNE, M. (1998): Characterizing fractured plutonic rocks of the Canadian Shield for deep geological disposal of Canada's radioactive wastes. Proceedings of 3rd Äspö International Seminar, Oskarshamn, Sweden, June 1998. Report TR-98-10, pp. 1-14, SKB, Stockholm.
- *LODHA, G. S., SERZU, M. H., KOZAK, E. T., EVERITT, R. A., TOMSONS, D. K. & HAYLES, J. G. (2004): Geophysical applications for deep geological repository studies in plutonic rocks of Canada. Material Research Society Symposium proceedings, Vol 807, 509-514.
- *KOTZER, T., GASCOYNE, M., MUKAI, M., ROSS, J., WAITO, G., MILTON, G. & CORNETT, R. J. (1998): ³⁶Cl, ¹²⁹I and noble gas isotope systematics in groundwaters from the Lac du Bonnet batholith, Manitoba, Canada. *Radiochimica Acta* 83, 313.
- *RUSSELL, S. B., GIERSEWSKI P. J., JENSEN, M. R. & KEMPE, T. F. (2001): Long-Term Management of Nuclear Fuel Waste in Canada: Technical Developments in the Concept for a Deep Geologic Repository. In *Geological Challenges in Radioactive Waste Isolation - Third Worldwide Review*.
- *SERZU, M. H., KOZAK, E. T., LODHA, G. S., EVERITT, R. A. & WOODCOCK, D. R. (2004): Use of borehole radar techniques to characterize fractured granitic bedrock at AECL's Underground Research Laboratory. *Journal of Applied Geophysics* 55, 137-150.
- *STEVENSON, D. R., KOZAK, E. T., DAVISON, C. C., GASCOYNE, M. & BROADFOOT, R. A. (1996): Hydro-geological characteristics of domains of sparsely fractured rock in the granitic Lac du Bonnet batholith, southeastern Manitoba, Canada. Report AECL-11558, AECL, Pinawa, Canada.
- *STREET, P. J., HAYLES, J. G., SERZU, M. H., STEVENS, K. M. & LODHA, G. S. (1998): Geophysical surveys of the quarry block fracture migration experimental area to characterize the room 209 fracture. AECL Technical record TR-00766.
- *SYKES, J. F. (2003): 4-2 Characterizing the Geosphere in High-Level Radioactive Waste Management. -NWMO Background papers.
- THOMPSON, P. M. & CHANDLER, N. A. (2004): In-situ rock stress determinations in deep boreholes at the Underground Research Laboratory. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 41, 1305-1316. [Hinweis: kostenpflichtig zu beziehen unter: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/13651609>]
- *TOMSONS, D. K., LODHA, G. S., STREET, P. J. & AUGER, J. L. F. (1995): A Bouguer gravity anomaly map and geophysical interpretation of the geometry of the Lac du Bonnet Batholith, Whiteshell Research Area, Southeastern Manitoba. AECL Technical record TR-00633.
- *VILKS, P. & BACHINSKI, D. B. (1997): Natural colloids in groundwater from granite and their potential impact on radionuclide transport. Report AECL-11635, AECL, Pinawa, Canada.
- VILKS, P., MILLER, N. H. & JENSEN, M. (2004): In-situ diffusion experiment in sparsely fractured granite. Proc. Spring Meeting of Materials Research Society, 2004. [Hinweis: kostenpflichtig zu beziehen unter: http://www.mrs.org/s_mrs/sec_subscribe.asp?CID=2683&DID=106576&action=detail]

WHITESHELL		Erkundungs- methoden: 1-9 übertägig 10-14 untertägig	Fernerkundung	Geophysik (übertägig)	Geophysik (im Bohrloch)	Geol. Kartierung	Bohrungen	Feldmessungen - Geohydraulik	Feldmessungen - Geochemie	Feldmessungen - Geomechanik	Labor	Geophysik	geologische Kartierung	Bohrungen	In-situ- Messungen	Labor
Inhalte der Themenkomplexe		Bezeichnungen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Regionale Geologie (20 km*20 km)																
Wirtsgestein / Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)	A1															
Stratigraphie	A2															
Strukturgeologie und Tektonik (Störungsmuster, Faltung)	A3															
Regionales Spannungsfeld	A4															
Temperatur und Wärmeleitfähigkeit	A5															
Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z.B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)	A6															
Rohstoffvorkommen	A7															
Eigenschaften des Wirtsgesteins und des Deckgebirges am Standort																
Lithologie	B1															
Geometrie (Tiefenlage, Ausdehnung)	B2															
Makro-Struktur (Großgefüge: Störungen / Faltungen / Deformationen / Klüfte)	B3															
Mikro-Struktur (Korngefüge / Porenstruktur)	B4															
In-situ-Spannungsverhältnisse	B5															
Mineralogie	B6															
Petrophysikalische Eigenschaften (Probenmaßstab):																
Gesteinsmechanik (z.B. Festigkeit, Kriechen)	B7a															
Hydraulik (z.B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)	B7b															
Diffusion	B7c															
Thermik	B7d															
THMC-Kopplung	B7e															
Chemismus (z.B. Oxidation, Adsorption)	B7f															
Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)																
Hydraulisch wirksame Einheiten	C1															
Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein	C2															
Fließ- und Speicherparameter	C3															
Zwei-Phasenfluss-Parameter	C4															
Hydrochemie																
Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)	D1															
Porenwasserchemismus	D2															
Transporteigenschaften	D3															
Kolloide usw.	D4															

Erkundungsaktivität

Erkundungsaktivität ohne eine Bewertung bzgl. der Qualitäts- bzw. Quantitätskategorien

Anhang 8

Dokumentation -
internationale Standorte in
sonstigen Gesteinen

Standort:	Yucca Mountain (USA)
Name - Typ:	Yucca Mountain - Untersuchungsstandort für ein Endlager für wärme-erzeugende radioaktive Abfälle
Lage:	im südlichen Teil des Bundesstaates Nevada etwa 160 km nordwestlich von Las Vegas
Betreiber:	USDOE
Fläche:	Die geplante Endlagerzone umfasst eine Fläche von 4,7 km ² .
Erschließung/ Teufenlage:	Die Erschließung erfolgte über einen Tunnel mit einer Gesamtlänge von etwa 8 km und zwei Eingängen in das Gebirge. Im Bereich des Yucca Mountain erreicht das Gebirge eine Höhe zwischen 1.400 und 1.500 m über dem Meeresspiegel. Der Einlagerungsbereich sollte in ungesättigtem Gestein in einer Tiefe von etwa 300 m unterhalb der Geländeoberfläche liegen. Der Grundwasserspiegel befindet sich etwa 300 m unterhalb der geplanten Einlagerungsebene.
Geologie:	<p>Yucca Mountain liegt in der „Great Basin“-Region, die Teil der „Basin and Range“-Provinz im Westen der USA ist. Yucca Mountain besteht aus vulkanischen Gesteinen mit einem Alter zwischen etwa 11,6 und 14 Mio. Jahren. Die einzelnen Tuffschichten unterscheiden sich z. T. in ihrem strukturellen Aufbau und weisen auch intern unterschiedliche Verfestigungszustände auf.</p> <p>Die vulkanischen Einheiten im Yucca Mountain liegen in einem mit ca. 10° leicht gekippten Block. Die Hauptstörungen, die den Block begrenzen, verlaufen Nord-Süd und führen damit zur Entstehung des langen Gebirgsrückens - Yucca Mountain. Das Gebirge beinhaltet Klüfte, die sowohl tektonischen Ursprung haben als auch durch Abkühlung des vulkanischen Gesteins entstanden sind [USDOE (2002)].</p>
Historie:	<p>Das Auswahlverfahren, das zur Charakterisierung von Yucca Mountain als potenziellem Standort für ein Endlager führte, begann 1977. Bis 1980 wurden 15 potenzielle Standorte verglichen und Yucca Mountain als bevorzugter Standort eingestuft.</p> <p>Im Mai 1986, nach der Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung, wurde Yucca Mountain und 4 andere Standorte von der Bundesregierung als geeignet zur weiteren Charakterisierung bezeichnet. Es wurde empfohlen, dass Yucca Mountain mit 2 anderen Standorten als Kandidatstandorte charakterisiert werden soll.</p> <p>In einem Bundesgesetz von 1987 wurde festgelegt, dass Yucca Mountain allein als Standort für die Errichtung eines Endlagers charakterisiert werden soll. Der Plan dazu wurde 1988 veröffentlicht [USDOE (1988)] und beinhaltete sowohl übertägige als auch untertägige Erkundungsmaßnahmen.</p> <p>Die Charakterisierungsaktivitäten begannen 1989 und wurden im Verlauf der Untersuchungen teilweise modifiziert. Einige Gründe dafür waren Befunde der Erkundungen, geänderte Anforderungen der Behörden sowie neue Vorstellungen zur Gestaltung des Endlagers bzw. zur Einlagerung des Abfalls, wie waagerechte Einlagerung in Stollen statt senkrechter in Bohrlöchern. Die Änderungen wurden im Progressbericht protokolliert.</p> <p>1994 bis 1997 erfolgte der Vortrieb eines 8 km langen Tunnels für eine Exploratory Studies Facility in der geplanten Einlagerungshöhe mit einer Tunnelbohrmaschine.</p>

	<p>1998 wurde ein Tunnel quer zum geplanten Einlagerungsbereich (Enhanced Characterisation of the Repository Block - ECRB) fertiggestellt.</p> <p>Die damals aktuellen Ergebnisse der Charakterisierung wurden 2002 in einen Bericht [USDOE (2002)] integriert, der als Basis einer Standortempfehlung seitens USDOE gegenüber dem Präsidenten der USA dienen könnte. Aktuell werden Unterlagen zu einem Genehmigungsantrag vorbereitet.</p>
Literatur:	<p>USDOE (1988): Site Characterization Plan Yucca Mountain Site - Nevada Research and Development Area, Nevada, DOE/RW-0199. Nine volumes. U.S. Department of Energy, Office of Civilian Radioactive Waste Management, Washington, D.C.</p> <p>USDOE (2002): Yucca Mountain Science and Engineering Report Rev 1, February 2002, DOE/RW-0539-1, U.S. Department of Energy Office of Civilian Radioactive Waste Management.</p>

Yucca Mountain, USA

Die vorgesehene Endlagerfläche beträgt 4,7 km². Diese ist durch die Fläche innerhalb des Verlaufs des als Teil der Erkundungen vorgetriebenen Tunnels definiert.

Wegen der eingeschränkten Übertragbarkeit der am Yucca Mountain erfolgten Erkundung der ungesättigten Zone auf typische deutsche Bedingungen, ist hier nur die chemische Charakterisierung der gesättigten Zone zu betrachten.

Das Vorhaben ist der Betrieb und die eventuelle Schließung eines geologischen Endlagers für abgebrannte Kernelemente und hochradioaktiven Abfall im Yucca Mountain-Gebiet unter Federführung des U.S. Department of Energy (USDOE). Yucca Mountain liegt im Mojave Desert, Nye County, S-Nevada, ca. 160 km nordwestlich von Las Vegas (S. 109). Durch geringen Niederschlag liegt der Grundwasserspiegel bei 500 bis 800 m unter Gelände. Das Endlager würde im mittleren und unteren Abschnitt des Topopah Spring Tuffs errichtet werden (S. 236), welcher sich oberhalb des Wasserspiegels in der ungesättigten Zone befindet.

Auswahlkriterien:

- abgelegene Gegend auf staatlichem Land
- Ablegenheit von stark besiedelten Gegenden
- trockenes Klima, wodurch in der ungesättigten Zone geringe Wassermengen auftreten
- niedriger Wasserspiegel, wodurch räumliche Trennung von Grundwasser und Endlager gegeben und mit minimaler Korrosion zu rechnen ist
- Grundwasser ist Teil eines abflusslosen Beckens (Great Basin)

Von 1977 bis 1988 erfolgten Studien zur Standortwahl, was den Bau von Straßen, Bohrungen, das Anlegen von Gräben und seismischen Messstationen beinhaltete. Die Erkundung des Standortes durch Bohrungen und über- und untertägige Hohlräume begann 1989 und dauerte bis nach 2001 an. Seit 1990 wurden die Erkundungsergebnisse in halbjährlichen Berichten zusammengefasst (z.B. USDOE 1997). Das Gebiet wurde auch hinsichtlich Energie- und Minerallagerstätten, Kernwaffentests u.a. studiert. Nach über 2 Jahrzehnten der Erkundung wurde Yucca Mountain vom Congress als Endlager ausgewiesen, was 2002 als Gesetz verabschiedet wurde (Yucca Mountain Development Act of 2002, Public Law 107-200). Seit 2007 sind für 2 Jahre 850 km² des staatlichen Landbesitzes für Zugang und Bergbau gesperrt, um die Konstruktion des Endlagers und des angeschlossenen Gleisnetzes zu evaluieren. Gegenwärtig sind 600 km² Fläche für die Öffentlichkeit unzugänglich (Nevada Test Site, Nevada Test and Training Range), wovon ca. 12 km² für die Oberflächenlagerung und Bahngelände vorgesehen sind. Der Rest soll als Pufferzone dienen. Auf dem Gelände wurden Tunnel für die unterirdische Forschungsstation (Exploratory Studies Facility-ESF) und am Ort des Endlagers gebohrt sowie Bohrlöcher, Messstellen, Gräben etc. errichtet. Durch den Staat Nevada erfolgten unabhängige Untersuchungen am Standort (Nye County's Independent Scientific Investigations Program and Early Warning Drilling Program), wobei Erkundungsbohrungen, Beobachtungsbrunnen, Bohrkernuntersuchungen sowie geologische und geophysikalische Bohrlochmessungen durchgeführt wurden.

Zur Geologie:

Yucca Mountain liegt im Südteil des Großen Beckens, welches durch N-S-orientierte, von Tälern durchbrochene Bergzüge (Basin and Range) gekennzeichnet ist. Es ist Teil des südwestlichen Vulkangebietes von Nevada, einer vulkanischen Plattform, die zwischen 14 und 11,5 Mio. Jahren (Tertiär) entstand. Yucca Mountain ist das Ergebnis vulkanischer Aktivität und dem Wirken von Störungen. Die Gesteinsschichten fallen nach E ein, die meisten Störungen (Abschiebungen) nach W. Aschekegel im Zentrum des Crater Flat-Beckens (ca. 1 Mio. bis 70.000 Jahre) sind Zeugen posttertiärer vulkanischer Aktivität (geologische Karte S. 237/238). Die für die Endlagerung vorgesehenen Schichten bestehen aus Tuffgestein. OCRWM (2007)

Zur Unterscheidung der Gesteinseinheiten dienen die mineralogisch-chemische Zusammensetzung, Dichte und Porosität. Es sind generell großvolumige saure Aschelaven verbreitet, deren letzte Aktivität vor über 7,5 Mio. Jahren auftrat. Basaltischer Vulkanismus ist im Zeitraum von 11 Mio. bis 80.000 Jahren datiert. Aufgrund des jungen Vulkanismus spielt die Gefährdungsabschätzung durch zukünftigen Vulkanismus eine große Rolle. Hinsichtlich der tektonischen Entwicklung des Gebietes wurde eine einstige E-W-Kompression, welche u.a. in Form von Deckenüberschiebungen überliefert ist, vor

20 Mio. Jahren von einem *Extensionsregime* abgelöst, geprägt von vertikalen, lateralen und schrägen Bewegungen entlang vor allem N-orientierter Störungen mit Versätzen von < 100 bis > 500 m (siehe Fig.3-10). Quartärzeitliche Versätze betragen 0 bis 6 m, meist 1 bis 2,5 m. Versatzbeträge pro seismischem Event werden mit 0 bis 1,7 m angegeben. Zwischen den N-orientierten Hauptstörungen liegen untergeordnete Nebenstörungen ohne eindeutige Hinweise auf Bewegungen während der letzten 1,6 Mio. Jahre. Dazu kommt ein Kluftsystem aus Abkühlungsklüften, tektonischen Klüften und Entlastungsklüften durch Erosion OCRWM (2002a).

Das Gebiet ist in N-streichende, nach Osten geneigte Schollen gegliedert, die von steil nach Westen fallenden känozoischen Störungen begrenzt werden und aus terrigenen Vulkaniten und Sedimentgesteinen miozänen Alters bestehen. Die Basis des Tertiärs und der Übergang zum paläozoischen Grundgebirge sind mit einem Bohrloch (dort bei 1,2 km Tiefe) nur sehr spärlich aufgeschlossen. Wichtige geologische Fragestellungen bei der Erkundung sind:

- Tiefe und Art des Kontaktes Känozoikum-Paläozoikum
- Herkunft und Aktivität quartärer Störungen
- Herkunft und Stabilität eines 300-m-Hochs der potentiometrischen Oberfläche im Norden der Grenze des potenziellen Standortes
- Möglichkeit zukünftigen Vulkanismus

Geophysikalische Erkundungen wurden mit Bohrungen kombiniert, um die Untergrundstruktur zu erfassen OLIVER et al. (1995).

Endlagerkriterien an den Untergrund:

- Deckgebirgsmächtigkeit mind. 200 m
- ausreichende Ausdehnung und geomechanische Gesteinseigenschaften
- Lage von Störungen
- Tiefe zum Grundwasser
- Stabilität der Hohlräume
- Wärmespeicherkapazität
- Ausdehnung und Mächtigkeit des Wirtsgesteins

OCRWM (2002c)

A Regionale Geologie (20 km x 20 km)

A1 Wirtsgestein/Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)

A1.1 Fernerkundung

A1.2 Geophysik (übertägig)

Insgesamt fast 23 Meilen reflexionsseismische Tiefenprofile und 35 Meilen hochauflösende Flachseismik im Gebiet des geplanten Endlagers sowie parallel durchgeführte Magnetik- und Gravimetrie-messungen auf den Profilen. Synthetisierung aeromagnetischer und bodengravimetrischer Daten zur Potenzialfeldmodellierung. VSP-Profile in 3 Bohrlöchern bis in Tiefe des geplanten Endlagers. Ausführliche Dokumentation für 1990 bis 1995 in Geophysics White Papers (YMP 1990; OLIVER et al. 1995). Allgemeines Ziel der o.g. Messungen ist die Unterstützung der tektonischen, vulkanischen und hydrologischen Erkundungen.

Mit Hilfe geophysikalischer Oberflächenerkundung und Bohrlochdaten erfolgte eine 3D-Modellierung, um die Variation von Gesteinseigenschaften über bestimmte Distanzen zu erhalten.

USDOE (2002)

Seismik:*Reflexionsseismik:*

Mittels Reflexionsseismik konnte die Tiefenausdehnung des Crater Flat-Beckens anhand der stratigraphischen Mächtigkeitszunahme von überlagernden Vulkaniten bestätigt werden.

OCRWM (2000a)

Spezielle Seismik:

33 SASW-Profile (Spektralanalyse von Oberflächenwellen) und downhole seismische Geschwindigkeitsmessungen (in vorhandenen Bohrlöchern) auf oder nahe des Yucca Mountain Rückens (siehe Kap. 6.4). Messung der Scher- und Kompressionswellengeschwindigkeiten in 8 Bohrlöchern (mit Stahlverrohrung) entlang des Yucca Mountain Rückens über dem Endlager. Es waren nur wenige flache Bohrlöcher (< 100 ft) vorhanden. Aufgrund der Stahlverrohrung konnte kein Fluxgate-Kompass verwendet werden; nur wenige Kompressionswellen-Daten erwiesen sich als brauchbar. Eine Scherwellen-Refraktion war nicht durchführbar, da an einem Testloch unmittelbar unterhalb der Oberfläche eine Geschwindigkeitsinversion auftrat. Im Allgemeinen weisen die Geschwindigkeitsprofile nur eine schwache Korrelation mit der Lithologie der Bohrkern auf. Generell besteht eine große Bandbreite an Scherwellengeschwindigkeiten innerhalb der einzelnen Bohrlöcher, was die heterogene Natur der vulkanischen Ablagerungen von Yucca Mountain zum Ausdruck bringt.

Es konnten Scherwellen-Informationen bis zu 700 ft Tiefe erhalten werden.

Crosshole seismische Erkundung wurde versucht, erzielte aber keine zufriedenstellenden Ergebnisse.

OCRWM (2002b)

Qualität: 2 Quantität: 2

Magnetik:

Hochauflösende aeromagnetische Erkundung durch USGS 1999 und 2000: ca. 836 mi² (2.164 km²), E-W-Fluglinien im 400 m Abstand bei einer Höhe von 150 m über Gelände bzw. so niedrig wie möglich.

Gemessene Parameter: unterschiedliche Magnetisierungsgrade (A/m), Anomalien (nT), revers-normal-Polarisierung. Es erfolgte ein Abgleich mit Gravimetriedaten. Potenzialfeld-Modellierung zur Interpretation der Geometrie und Lage der magnetischen Quellen: kommerzielles 2,5-dimensionales Programm ("GM-SYS"). Grundlage sind lineare Profile unter der Annahme 2-dimensionaler Körper. Z.T. Kombination mehrerer Profile um die 3-dimensionale Ausdehnung der Körper besser einzugrenzen. Modellrandbedingungen: a) gravity Inversion, b) magnetische Eigenschaften.

Mit Hilfe der magnetischen und gravimetrischen Messungen sowie durch zusätzliche Informationen aus Bohrungen im Bereich der Anomalien konnte die vulkanische Interpretation bestätigt werden (z.B. VH-1, S. 9). Es konnten Aussagen zum Material und zur Struktur gewonnen werden.

Weitere Aussagen aus der Kombination von aeromagnetischen und gravimetrischen Messungen sind die Volumenabschätzung der Anomalien, Interpretation der geologischen Struktur und genetische Aussagen (Vulkane etc.). Aus der Tiefe des Schlotes/Lavakörpers werden Altersaussagen geschlussfolgert.

Da bei der Potenzialfeld-Modellierung unterschiedliche Modelle die selbe Anomalie erzeugen können, sind zusätzliche Studien wie z.B. detaillierte Magnetikmessungen am Boden oder mit Helikopter im Bereich der Anomalien notwendig, um mehr Informationen zu den magnetischen Eigenschaften zu erhalten.

O'LEARY *et al.* (2002)

Bodenmagnetische Erkundung der aeromagnetischen Anomalien:

Volumenabschätzung quartärer Laven und Erstellung von Karten der Anomalien mit 40 bis 60 aeromagnetischen Anomalien innerhalb von ≈35 bis 40 km von Yucca Mountain. Interpretation von basaltischen Intrusivkörpern und Korrelation mit kartierbaren Störungen. Ein revers magnetisierter Gesteinskörper könnte auch miozänen Tuff darstellen.

OCRWM (2000a)

39 areomagnetische Messkampagnen in S-Nevada und 11 in angrenzenden Teilen Californiens.

Im Ergebnis konnten den Anomalien Materialien zugeordnet werden; es wurde die zu dem Zeitpunkt einzige verfügbare Angabe zur Grundgebirgsmächtigkeit geliefert, die in Strukturmodelle und die mineralische Bewertung eingeht.

OLIVER et al. (1995)

Qualität: 3 Quantität: 2

Quantität 2 wurde trotz der hohen Punktdichte gewählt, weil es Hinweise gab, dass für eine verbesserte Interpretation eine Verdichtung des Messpunktnetzes notwendig ist.

Gravimetrie:

Hochauflösende Gravimetrie und Bodenmagnetik, hier entlang eines NW-ausgerichteten Profils, können zusammen mit Bohrungen in Anomaliebereichen und radiometrischen Datierungen Hinweise für die Abschätzung der Gefahr durch Vulkanismus liefern. Nach Abgleich der Lage gravimetrischer und magnetischer Anomalien, reflektieren die beobachteten Gravimetriedaten unterschiedliche Tiefen zum prätertiären Grundgebirge.

Generell sind hoch auflösende Gravimetrie und Reflexionsseismik geeignet, um vulkanisches Material mit geringer Dichte und geringer Geschwindigkeit zu erkunden. Durch zusätzliche Bohrungen könnten die geometrischen Thesen getestet werden und durch neue Informationen von Gesteinsproben und radiometrischen Altern zu Aussagen der vulkanischen Aktivität beitragen.

O'LEARY et al. (2002)

Gravimetrische Erkundung seit 1979. Über Modellierung ist die Interpretation des Kontaktes zum Grundgebirge möglich. Die Ergebnisse der Gravimetrie wurden bei der Erarbeitung von Hypothesen zur Untergrundstruktur einbezogen. Kreisförmige Schweretiefs bis zu 50 mGal Amplitude nördlich von Yucca Mt. zeichnen Calderas nach.

OLIVER et al. (1995)

Qualität: 3 Quantität: 2

Qualität 3, da zusammen mit den magnetischen Daten eine quantitative Interpretation bis hin zur 3D-Modellierung erfolgte. Quantität 2: es gibt keine Angaben zu Messpunktabständen, jedoch lassen die aus den Messungen abgeleiteten Aussagen über das Grundgebirge eher Messungen mit größeren Abständen erwarten.

Geoelektrik / Magneto-Tellurik:

Geoelektrik:

Elektrische Widerstandsmessungen (136 SCHLUMBERGER-Sondierungen; ausführlicher siehe GREENHAUS & ZABLOCKI, 1982) zur Festlegung der Tiefe des Grundgebirges (bei ca. 800 m).

O'LEARY et al. (2002)

Magneto-Tellurik:

5 magneto-tellurische Kampagnen (1965 bis 1986) in der Yucca Mountain-Region. Die Ergebnisse erlaubten die Erfassung der regionalen Widerstandsverteilung bis in große Tiefen. Die abgeleiteten Tiefenangaben weisen Unsicherheiten bis zu 30% auf (bei 1D-Inversion). Es deuten sich in den oberen 5 km laterale Inhomogenitäten an, so dass eine 2D- und 3D-Inversion der Daten empfohlen wird.

OLIVER et al. (1995)

Qualität: 2 Quantität: 2

A1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Stand 2002: 40 Bohrlöcher, wovon 24 mit dem Standardmessprogramm geophysikalisch erkundet wurden.

USDOE (2002)

Bohrloch-Gravimetrie im Bohrloch EWDP-19D/D1.
USDOE (2001)

Qualität: 2 Quantität: 2

A1.4 Geol. Kartierung

Geologische Kartierung wurde im Maßstab 1 : 12.000 durchgeführt. Schürfe sowie Messungen von Störungen, Klüften usw. sind eingeschlossen.

USDOE (1988), USDOE (1997)

Qualität: 2 Quantität: 3

A1.5 Bohrungen

A1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A1.7 Feldmessungen - Geochemie

A1.8 Feldmessungen - Geomechanik

A1.9 Labor

A1.10 Untertage Geophysik

A1.11 Untertage geol. Kartierung

A1.12 Untertage Bohrungen

A1.13 Untertage In-situ-Messungen

A1.14 Untertage Labor

A2 Stratigraphie

A2.1 Fernerkundung

A2.2 Geophysik (übertägig)

siehe auch A1.2

Aeromagnetische Messungen dienen u.a. der Ortung lithologischer Kontakte zwischen normal und revers magnetisierten Tuffen oder z.B. Carbonaten und stark magnetischen Schiefertönen, wodurch stratigraphische Trennungen möglich werden.

O'LEARY et al. (2002)

Qualität: 3 Quantität: 2

Zusammen mit Bohrlochdaten und der geologischen Kartierung bilden geophysikalische Erkundungen die Basis für das konzeptionelle Verständnis des geologischen Rahmens. Darauf aufbauend wurden räumliche Modelle (3D) entwickelt, um die Verbreitung geologischer, geotechnischer, hydrologischer, mineralogischer und geochemischer Parameter zu veranschaulichen.

OCRWM (2002c)

Qualität: 2 Quantität: 2

A2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

siehe A1.3

Qualität: 2 Quantität: 2

A2.4 Geol. Kartierung

Geologische Kartierung wurde im Maßstab 1 : 12.000 durchgeführt. Schürfe sowie Messungen von Störungen, Klüften usw. sind eingeschlossen.

USDOE (1988), USDOE (1997)

Qualität: 2 Quantität: 3

A2.5 Bohrungen**A2.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A2.7 Feldmessungen - Geochemie****A2.8 Feldmessungen - Geomechanik****A2.9 Labor****A2.10 Untertage Geophysik****A2.11 Untertage geol. Kartierung****A2.12 Untertage Bohrungen****A2.13 Untertage In-situ-Messungen****A2.14 Untertage Labor****A3 Strukturgeologie und Tektonik****A3.1 Fernerkundung****A3.2 Geophysik (übertägig)**Seismik:

Seismische Tomographie und VSP-Profile zur Detektion und Charakterisierung des Kluftnetzwerks im Untergrund. Z.T. Extrapolation von Klüften, indem anhand der ermittelten seismischen Ausbreitungseigenschaften in noch nicht durch Bohrungen erkundeten Gebieten auf das Vorhandensein von Klüften im Untergrund geschlossen wurde, was auf der Grundlage des seismischen Verhaltens an bereits beobachteten Bruchstrukturen erfolgte.

Geophysikalische Tiefenerkundung: Reflexionsseismik entlang einer 37 km langen EW-Traversal über diversen Störungszonen. Testlinie, um die Datenqualität für mitteltiefe und tiefe Reflexionsprofile abzuschätzen.

Ziel: Identifizierung und Lokalisierung möglicher seismisch aktiver Gebiete (Magmenkammern) Zonen einschließlich der Fortsetzung von rezenten Störungen und deren Bezug zu Abscherungsbahnen.

Ergebnis: Das regionale seismische Profil von 1994 zeigt, dass die Qualität der Daten aus den Tertiärschichten ausreicht, um den Kontakt zwischen tertiären und paläozoischen Schichten zu beschreiben und Schlussfolgerungen zu dessen Charakter (tektonisch/Schichtung etc.) zu treffen (hier: Kontakt \neq Abscherungsbahn). Die Datenqualität tiefer liegender Reflektoren war schlecht, was auch in anderen Gebieten auftrat und weshalb weitere seismische Kampagnen eingestellt wurden. Einige Störungszonen wurden deshalb nicht erkundet, da das Kosten-Nutzen-Verhältnis angesichts der zu erwartenden schlechten Datenqualität bei tief liegenden Reflektoren zu schlecht gewesen wäre.

Mittels Reflexionsseismik ist das Einfallen und die Lage von Störungen (Bare Mountain fault, $64 \pm 5^\circ$) bis in Tiefen von mindestens 3,5 km, bis möglicherweise 6 km detektierbar (siehe BROCHER et al. 1998, pp. 956, 966).

OCRWM (2000)

Teleseismische Tomographie von Druckwellen im lokalen und regionalen Maßstab, um bestehende Magmensysteme auszuweisen und tektonische Strukturen zu kartieren, die Einfluss auf das Endlager ausüben könnten. Eine Hochgeschwindigkeits-Anomalie im oberen Mantel unterhalb einer miozänen Caldera erkannt. Da diese als ausgekühltes Residuum interpretiert wird, wird angenommen, dass die Wurzeln des Vulkanfeldes von Nevada bereits tot sind. Daneben befindliches Mantelmaterial mit niedrigen Geschwindigkeiten könnte eine partielle Schmelze sein und somit eine Wärmequelle für mögli-

chen zukünftigen Vulkanismus in der Region darstellen. Das Vorhandensein großer, reifer, silikatischer Magmenkammern in der Kruste kann ausgeschlossen werden. Lediglich eine schwache, säulenförmige Niedriggeschwindigkeits-Struktur ist vorhanden, was als lokale Krustenaufheizung angesehen wird. Generell sind Aussagen zur generellen Strukturgeometrie möglich und Hinweise für weitere zukünftige Erkundungsmaßnahmen.

OLIVER et al. (1995)

Reflexionsseismik und Gravimetrie:

Profilmessungen von Reflexionsseismik und Gravimetrie zur Erkundung der Strukturgeologie (Störungen), insbesondere Klärung der rezenten Aktivität von Störungen.

Im Abgleich mit geologischen Daten konnten die vorhandenen Abscherungsflächen (detachment faults) der Prätertiär-Tertiär-Grenze in geringer Tiefe als inaktiv bewertet werden, da sie von jüngeren steileren Störungen durchschlagen werden. Die tiefer liegenden Scherungsflächen innerhalb des proterozoisch-paläozoischen Grundgebirges konnten mittels Geophysik jedoch nicht erfasst werden.

Durch Vergleichen der Tiefe der Basis der seismogenen Kruste mit dem Top der (duktilen) unteren Kruste wird das gesteinsmechanische Verhalten der Gesteine (duktil oder spröde) abgeleitet und so auch Aussagen zum Verhalten und zur Tiefenausdehnung von Störungen getroffen. Eine generelle Erfassung der Geometrie regionaler Strukturen mit Tiefen- und Ausdehnungsangaben ist möglich. Mittels Reflexionsseismik ist die Lage, Tiefe und das Einfallen (Geometrie) von Störungsflächen und Schichten ermittelbar. Die Fortsetzung von Störungen in der Tiefe bzw. deren Interaktion waren jedoch nicht erfassbar. Da Störungen als potenzielle Bewegungsbahnen agieren können, sind im erweiterten Sinn auch Aussagen zur Gefährdung des Standortes durch Erdbeben möglich.

BROCHER et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 2

Qualität 2 ergibt sich trotz der geringen Informationen über tiefe Strukturen aus dem hoch auflösenden tomografischen Ansatz für den oberflächennahen Bereich

Magnetik:

Die Kombination aeromagnetischer und bodenmagnetischer Messungen (siehe A1.2) zur Lokalisierung von verborgenen Störungen konnte hier erfolgreich angewendet werden, da mehrere vulkanische Lagen mit starker remanenter, normaler und reverser Magnetisierung vorhanden sind. Ein Test des bodenmagnetischen Modells (Magnituden) mit aeromagnetischen Daten ermöglicht hier Angaben zu Versatzbeträgen von Hauptstörungen (70 m vertikaler Versatz). Mittels Bodenmagnetik sind auch kleinere Versätze feststellbar.

OLIVER et al. (1995)

Qualität: 3 Quantität: 2

Gravimetrie:

siehe A1.2

Erfolgreich eingesetzt bei der Lokalisierung verborgener Störungen in Gebieten, auf denen umfangreiche Anlagen gebaut werden sollen.

OLIVER et al. (1995)

Qualität: 3 Quantität: 2

Magneto-Tellurik:

Vergleich von Reflexionsseismik mit den Ergebnissen magneto-tellurischer Messungen, welche mit dem Ziel erfolgten, Angaben zur Struktur und Zusammensetzung der Kruste zu erhalten. Ergebnis: Es wurden keine weiteren magneto-tellurischen Messungen durchgeführt, da das Aufwand-Kosten-Verhältnis und der personelle Aufwand im Vergleich zum erwarteten Informationszuwachs zu hoch gewesen wären. Die Interpretation der Daten hätte zusammen mit tiefenseismischen Profilen, teleseismischen Daten u.a. erfolgen müssen, die jedoch nicht gewinnbar waren bzw. nicht zur Verfügung standen.

USDOE (2002)

5 magneto-tellurische Kampagnen (1965 bis 1986) in der Yucca Mountain-Region.

Ergebnisse: Mit Hilfe 1- und 2-dimensionaler Modellierung wurden Querschnitte wichtiger tektonischer Großstrukturen (tektonischer Gürtel) und Hinweise zur Lage und Ausdehnung von elektrisch leitfähigeren Störungen erhalten. Die Magneto-Tellurik kann hier Blockstrukturen ausweisen und Störungen anzeigen, da dünne (3 bis 5 km) Bereiche Suprakrustengesteins (ca. 150 Ohm-m) gegen einen dickeren Bereich (7 bis 12 km) grenzen.

OLIVER et al. (1995)

Qualität: 2 Quantität: 2

Nutzung seismischer, gravimetrischer, aeromagnetischer und bodenmagnetischer Daten zur Erkundung der Strukturen unterhalb des "Crater Flat"-Beckens, welches mit jungen Lockersedimenten aufgefüllt ist. Die Orientierung der Strukturen wird durch Messungen an Aufschlüssen und aus dem Streichen aeromagnetischer und gravimetrischer Anomalien abgeleitet. Gravimetrie- und Magnetikdaten unter Abgleich mit Aufschlüssen dienen zur Ausweisung von Störungsstrukturen.

Kritik: Die Kombination von 3 aeromagnetischen Datensätzen durch EARTHFIELD TECHNOLOGY (1995) zeigte, dass einige Lokationen von ihrer tatsächlichen Lage fälschlicherweise um 20 km nach SSW abweichen. Wirklich zuverlässige und genaue Daten sind also nur durch eine magnetische Bodenerkundung der aeromagnetisch lokalisierten Anomalien möglich.

OCRWM (2000)

A3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

siehe A1.3

Qualität: 2 Quantität: 2

A3.4 Geol. Kartierung

Geologische Kartierung wurde im Maßstab 1 : 12.000 durchgeführt. Schürfe sowie Messungen von Störungen, Klüften usw. sind eingeschlossen.

USDOE (1988), USDOE (1997)

Qualität: 2 Quantität: 3

A3.5 Bohrungen

A3.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A3.7 Feldmessungen - Geochemie

A3.8 Feldmessungen - Geomechanik

A3.9 Labor

A3.10 Untertage Geophysik

A3.11 Untertage geol. Kartierung

A3.12 Untertage Bohrungen

A3.13 Untertage In-situ-Messungen

A3.14 Untertage Labor

A4 Regionales Spannungsfeld

A4.1 Fernerkundung

A4.2 Geophysik (übertägig)

A4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A4.4 Geol. Kartierung

A4.5 Bohrungen**A4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A4.7 Feldmessungen - Geochemie****A4.8 Feldmessungen - Geomechanik****A4.9 Labor****A4.10 Untertage Geophysik****A4.11 Untertage geol. Kartierung****A4.12 Untertage Bohrungen****A4.13 Untertage In-situ-Messungen****A4.14 Untertage Labor****A5 Temperatur und Wärmeleitfähigkeit****A5.1 Fernerkundung****A5.2 Geophysik (übertägig)**

Geophysikalische Daten einschließlich gravimetrischer, magnetischer, seismischer und Wärmeflussdaten waren nicht in der Lage, strukturelle Beweise für eine thermische Anomalie auszuweisen. Im Vergleich zu den Merkmalen geothermischer Systeme in anderen Gebieten des Great Basin, kann im Yucca Mountain-Gebiet keine brauchbare Quelle identifiziert werden.

OCRWM (2002c)

Aeromagnetische Daten zur Bestimmung der Tiefe und Struktur der Curie-Isothermen (400 bis 580°C je nach Ti- und Magnetitgehalt), welche hier in ca. 25 km unter Yucca Mountain erreicht werden. Diese Angaben sind jedoch sehr unsicher, da kein ausreichendes Datenmaterial zur Verfügung stand. Z.T. bestehen gute Übereinstimmungen zwischen Curie-Isothermentiefe bei größer 25 km und niedrigen Wärmefluss-Werten.

OLIVER et al. (1995)

Nutzen der Untersuchung unklar, daher keine Bewertung.

A5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**A5.4 Geol. Kartierung****A5.5 Bohrungen****A5.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A5.7 Feldmessungen - Geochemie****A5.8 Feldmessungen - Geomechanik****A5.9 Labor****A5.10 Untertage Geophysik****A5.11 Untertage geol. Kartierung****A5.12 Untertage Bohrungen****A5.13 Untertage In-situ-Messungen****A5.14 Untertage Labor**

A6 Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z. B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)**A6.1 Fernerkundung****A6.2 Geophysik (übertägig)**Seismik:*Passive Seismik:*

Review geophysikalischer und geochemischer Daten aus der näheren Umgebung, u.a. tomographische Inversion von Seismikdaten des seismischen Monitoringprogramms. Ziele sind die Abschätzung von Indikatoren eventueller Magmenkörper im Untergrund, welche Quellen vulkanischer Aktivität darstellen könnten und die Abschätzung der Wahrscheinlichkeit einer Eruption, die das Endlager betreffen würde.

Die bevorzugte Methode zur seismischen Gefährdungsabschätzung besteht aus der Interpretation seismologischer, geologischer, geophysikalischer und geotechnischer Datensätze durch einen Zusammenschluss von Experten. Als Ergebnis werden dabei die Informationen zu Zonen seismischer Aktivität, zum Versatz an Störungen und zu Bodenbewegungen erwartet, welche wiederum als Eingangsparameter für Wahrscheinlichkeitstheoretische Berechnungen fungieren (S. 135).

Wahrscheinlichkeitstheoretische seismische Gefährdungsanalyse für Bodenbewegung und Bewegung entlang von Störungsbahnen. Ziel ist es, Erdbebenquellen zu identifizieren, die seismische Gefahr abzuschätzen und das Design des Endlagers entsprechend anzupassen.

Der o.g. Versuch der Bodenbewegungsanalyse wird als erfolgreich gewertet, um die Zielstellungen zu beantworten. Die vorher verwendete Methode des 10.000-Jahre kumulativen Verwerfungsansatzes wurde verworfen, da dieser von der DOE nicht mehr als die aktuellste Methode angesehen wurde.

Bodenbewegungsmodelle wurden aus regionalen Erdbebendaten (v.a. des Erdbebens von 1992) und unterirdischen Kernversuchen entwickelt, welche mit Oberflächen- und Untertageregistrierstationen erfasst wurden. Ziel ist es, die Bodenbewegungen in der Umgebung des Endlagers bei möglichen Erdbeben und entlang von Abschiebungsstörungen zu simulieren. In diesem Zusammenhang wurden auch flachseismische Geschwindigkeitsprofile in unmittelbarer Umgebung des potenziellen Endlagerstandortes aufgenommen, um anhand des elastischen Verhaltens Rückschlüsse auf die Bodenbewegungen bei möglichen seismischen Events zu ziehen und das Endlager entsprechend auszubauen.

Störungsspezifische paläoseismische Daten wurden sowohl aus künstlichen Aufschlüssen (trenching) gesammelt, als auch aus der Zusammenstellung von Daten historischer und aktueller seismischer Beben im südlichen Great Basin bzw. innerhalb eines 300 km Radius um Yucca Mountain. Das aktuelle Monitoring umfasst 49 analoge und 27 digitale Seismographen, um eine Datenbasis für die aktuelle Häufigkeit von Beben im südlichen Great Basin zu schaffen. Ergänzend dazu fanden geophysikalische Messkampagnen, Downhole- und untertägige Messungen des Spannungsfeldes und geodätische Messungen statt. Ziel ist die Charakterisierung des Erdbebenpotenzials nahe Yucca Mountain, die Ermittlung der Charakteristik von Störungen, die Abschätzung des Verhaltens seismischer Wellen in der Umgebung des Endlagers sowie die Bestimmung der Variation der Bodenbewegung mit der Tiefe und mit der anstehenden Geologie.

Im Zuge dieser Kampagne wurde vom USGS 1998 ein Katalog historischer Beben für das Gebiet erstellt (S. 136).

USDOE (2002)

Aktuelle und historische Seismizität:

Kontinuierliches Monitoring der seismischen Aktivitäten der Nevada Test-Site seit 1978 durch das „Southern Great Basin Seismic Network“ des DOE.

Das Design der untertägigen Anlage hinsichtlich des seismischen Risikos (Bodenerschütterung und Bewegung an Störungsbahnen) basiert auf dem Datensatz historischer Erdbeben im Great Basin, der Bewertung prähistorischer Erdbeben durch die Kartierung von Störungen in Yucca Mountain und der Bodenbewegung junger Beben, aufgezeichnet vom Southern Great Basin Seismic Network. Daraus entstanden Bodenbewegungsstudien (Grad der Erschütterung) und hypothetische Bebenanalysen (Voraussagen von Amplitude und Häufigkeiten). Weitere Studien sind notwendig, um die Nebeneffekte eines möglichen Bebens zu erfassen. Der Ausbau des Lagers soll einer gewissen Bewegung standhalten können.

OCRWM (2002a)

Reflexionsseismik:

Durch Vergleichen der Tiefe der Basis der seismogenen Kruste mit dem Top der (duktilen) unteren Kruste wird das gesteinsmechanische Verhalten der Gesteine (duktile oder spröde) abgeleitet. Basierend auf den aus seismischen Eigenschaften abgeleiteten gesteinsmechanischen Eigenschaften erfolgt eine Interpretation der zukünftigen tektonischen Entwicklung. Da Störungen als potenzielle Bewegungsbahnen agieren können, sind im weiteren Sinne Aussagen zur Gefährdung des Standortes durch Erdbeben möglich (siehe A3.2).

BROCHER et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 3

Magnetik:

Aus der bodenmagnetischen Erkundung aeromagnetisch lokalisierter Anomalien (siehe A1.2) werden über Volumenabschätzung quartärer Laven, Anomalien-Karten und Lagebeziehungen zu kartierten Störungen generelle Aussagen zur vulkanischen Entwicklung des Gebietes abgeleitet.

OCRWM (2000)

39 aeromagnetische Messkampagnen in Süd-Nevada und 11 in angrenzenden Teilen Californiens (siehe A1.2)

Ergebnis: Das Lokalisieren basaltischer Vulkanzentren mit Hilfe lokaler Dipol-Anomalien aeromagnetischer Messungen liefert wichtige Aussagen zur Abschätzung zukünftiger vulkanischer Aktivität.

OLIVER et al. (1995)

Qualität: 2 Quantität: 2

Qualität 2, da keine Angaben über Modellierungen zu dieser Aufgabenstellung gemacht wurden.

A6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Auf der Basis von Vertical Seismic Profiling (VSP)-Kampagnen an 6 Bohrlöchern (ausführlicher in DALEY et al. 1994) wurden Geschwindigkeitsprofile abgeschätzt, um erste seismische Bodenbewegungsmodelle zu erstellen, wobei sich jedoch nur 1 Bohrloch im Bereich der Untergrundeinrichtung befand.

OCRWM (2002b)

Ohne Bewertung, da der Nutzen der Untersuchung unklar ist.

A6.4 Geol. Kartierung**A6.5 Bohrungen****A6.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A6.7 Feldmessungen - Geochemie****A6.8 Feldmessungen - Geomechanik**

Geodätische Messungen an Basisstation und Marken (Nutzung GPS-Satelliten), um vertikale Bewegungen entlang quartärer Störungen im Umkreis von 100 km von Yucca Mountain und historische Hebungen und Senkungen zu erfassen. Messung lateraler Krustendehnung mittels regionalem GPS-Stations-Netzwerk und sehr langer Baseline Interferometrie. Mit den o.g. Methoden konnten alle Ziele erreicht werden.

USDOE (2002)

Aus quartärem Vulkanismus, tektonischer Geschichte und geodätischen Messungen werden Krustendeformationsraten abgeleitet. Ziel ist die Abschätzung der potenziellen vulkanischen und seismischen Gefährdung. Messungen: a) Geodätisches Messnetz mit 14 Stationen und 50 km Länge auf Yucca Mountain mit Messkampagnen 1983, 1984, 1993, 1998. Interpretation durch U.S. Geological Survey. b) 32 geodätische Messpunkte mit kontinuierlicher Global Positioning System-Erfassung (Mai 2001) → Ergebnisse standen noch aus.

Ingesamt schwanken die Angaben zu möglichen Verformungsraten je nach Autor um eine Größenordnung. Zum damaligen Zeitpunkt erwiesen sich die Raten höher als bisher angenommen, wodurch das Risiko von der DOE neu bewertet werden musste.

OCRWM (2002a)

A6.9 Labor**A6.10 Untertage Geophysik****A6.11 Untertage geol. Kartierung****A6.12 Untertage Bohrungen****A6.13 Untertage In-situ-Messungen****A6.14 Untertage Labor****A7 Rohstoffvorkommen****A7.1 Fernerkundung**

Zur Erkundung potenzieller Lagerstätten wurden u.a. Fernerkundungsmethoden genutzt (siehe A7.2).

OCRWM (2002c)

Qualität: 2 Quantität: 2

A7.2 Geophysik (übertägig)

Die Auswertung bis dato vorhandener geophysikalischer Daten, insbesondere von Anomalien, sollte das Lagerstättenpotenzial des Standortes erfassen.

USDOE (2002)

Auf der Basis detaillierter geologischer, geochemischer, mineralogischer und geophysikalischer Studien sowie von Fernerkundungsdaten konnte kein bzw. ein geringes Potenzial für wirtschaftliche metallische Rohstoffe oder Uranlagerstätten festgestellt werden (ausführlicher siehe CRWMS M&O 2000b, Section 4.9).

OCRWM (2002c)

Qualität: 2 Quantität: 2

A7.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**A7.4 Geol. Kartierung****A7.5 Bohrungen****A7.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A7.7 Feldmessungen - Geochemie****A7.8 Feldmessungen - Geomechanik****A7.9 Labor****A7.10 Untertage Geophysik****A7.11 Untertage geol. Kartierung****A7.12 Untertage Bohrungen****A7.13 Untertage In-situ-Messungen****A7.14 Untertage Labor**

B Eigenschaften des Wirtsgesteins und des Deckgebirges am Standort**B1 Lithologie/Stratigraphie****B1.1 Fernerkundung****B1.2 Geophysik (übertägig)**Seismik:

siehe auch A1.2

Downhole-Seismik:

Downhole seismische Erkundung in 16 Bohrlöchern auf dem Testgelände (Fläche ca. 1.886 ft x 1.143 ft); Messung von Scher- und Kompressionswellen. Die Ergebnisse zeigten, dass keine signifikante Anisotropie auftrat. Die aus Scher- und Kompressionswellen ermittelten Tiefen von Schichtgrenzen stimmen nicht immer überein. Ursache dafür ist wahrscheinlich, dass Scher- und Kompressionswellen von der Quelle zum Empfänger entlang unterschiedlicher Wege laufen. Eine in einem einzelnen Bohrloch auftretende scheinbare Niedriggeschwindigkeitszone wird als Artefakt multipler Laufwege gedeutet, dessen Ursache in der komplexen Geologie zu suchen ist.

SASW und Downhole-Seismik:

Downhole-Geschwindigkeitsprofile in flachen Bohrungen und 33 SASW-Kampagnen entlang des Yucca Mountain-Rückens unmittelbar über dem geplanten Endlager. 7 Messkampagnen für die Erkundung des Bereiches zwischen 500 und 700 ft Tiefe, 12 für Tiefen von 150 bis 200 ft, 11 für Tiefen \geq 400 ft und 3 Messungen direkt an der Oberfläche des aufgeschlossenen Gesteins (S. 246). Empfängerabstände von 3, 6, 12, 25, 50, 100, 200 ft, bis zu 400, 600 und 800 ft. Es wurde ein Schlaghammer zur hochfrequenten Anregung eingesetzt. Bei Empfängerabständen > 25 ft kam ein Bulldozer oder ein Vibroseis-Fahrzeug zur Anwendung. Ziel war die generelle Ermittlung der Scherwellengeschwindigkeitsstruktur bis in Tiefen von 500 bis 700 ft und insbesondere der Blockstruktur im SE des Standortes des Endlagers. Neben Hinweisen auf eine starke laterale Variabilität weisen viele Profile Niedriggeschwindigkeitszonen unterhalb von Gesteinen mit hoher Geschwindigkeit auf, was sehr häufig in vulkanischen Formationen auftritt. Ein Vergleich der mittleren Scherwellengeschwindigkeitsprofile parallel und senkrecht zum Bergrücken zeigt Unterschiede von bis zu 600 ft/s in den oberen 150 ft, was als Anisotropie aufgrund von paralleler Klüftung in den oberflächennahen Einheiten gedeutet wird.

Generelle Einschätzung der seismischen Methoden (S. 344):

Downhole-Seismik und SASW sind zur Ermittlung von durchschnittlichen seismischen Geschwindigkeiten von Schichten mit relativ einheitlicher Geschwindigkeit geeignet. Relativ dünne Schichten (wenige feet) sind mit ihnen jedoch nicht detektierbar. Messungen mit Quelle und Empfänger im selben Bohrloch (suspension seismic) erzielen dagegen eine höhere Auflösung von bis zu 3,3 ft, besitzen aber keine große Tiefenreichweite. Die Messungen mit Quelle und Empfänger im selben Bohrloch können durch lokale Materialeffekte stark beeinflusst werden. Insbesondere Bohrlochrandausbrüche haben Auswirkungen auf diese Messung im Bohrloch.

Der Vergleich von Ergebnissen der Messungen mit Quelle und Empfänger im selben Bohrloch (suspension seismic) und der Downhole-Erkundung zeigt, dass die Scherwellengeschwindigkeiten der suspension seismic im Durchschnitt 3% höher liegen als die der Downhole-Erkundung. Bei den Kompressionswellen-Geschwindigkeiten betrug der Unterschied 1,4 %.

Verfahrensbedingt ist bei hohen Frequenzen die Genauigkeit der SASW-Methode nahe der Oberfläche größer als in der Tiefe. Unterschiede zwischen Downhole- und SASW-Ergebnissen treten meist in den obersten 10 feet auf und können durch unterschiedliche örtliche Gegebenheiten, unterschiedliche Feuchtegehalte oder Interferenzen der Signale verursacht sein. Je nach Methode werden unterschiedliche Geschwindigkeitsprofile gewonnen, da jeweils unterschiedliche Gesteinsvolumina gemessen werden.

Mit den hier angewandten Methoden waren keine aussagekräftigen Messungen in 700 bis 1.000 ft Tiefe möglich. Je nach Untergrund, Methode, Aufnahmetechnik und Bearbeiter traten bei Interpretationen sehr große Unterschiede (bis zu 100%) auf.

OCRWM (2002b)

Qualität: 2 Quantität: 2

B1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Es wurden 3 tiefe Bohrungen bis auf Endlagertiefe abgeteuft, mit Oberflächen- und Bohrlochgeophysik erfasst und petrophysikalische Eigenschaften ermittelt, um das stratigraphische Modell des Untergrundes zu validieren. Magnetik-Daten dienen zur Interpretation der Stratigraphie vulkanogener Ablagerungen, deren Strukturen und der Rotation dieser Gesteinseinheiten relativ zu diesen Strukturen.

USDOE (2002)

Seismik:

Auf der Fläche der potenziellen Abfallbehandlungsanlage (ca. 1.886 ft x 1.143 ft) wurden im Jahr 2000 15 neue Bohrlöcher (7 tiefe, 8 oberflächennahe) abgeteuft, wovon 4 Kerne gezogen wurden (S. 34). Die Tiefenfestlegung erfolgte mit dem Ziel, dass die Bohrungen 100 ft ins Grundgebirge reichen müssen, um eine gewünschte Scherwellengeschwindigkeit von mindestens 5.000 ft/s zu erreichen, was vor Bohrbeginn anhand von VSP-Ergebnissen eines einzelnen Bohrlochs (RF#13) abgeschätzt wurde. Flache Bohrungen reichen bis 50 ft um eine bestimmte Tufflage zu erreichen. Durchmesser 8,5 in, Ausbau mit PVC für Bohrlochmessungen. Probleme beim Bohren: Hohlräume (Gasblasen), Klüftfüllungen.

Bohrlochseismische Messungen mit Quelle und Empfänger im selben Bohrloch (suspension seismic):

In 15 wassergefüllten Bohrlöchern wurden bohrlochseismische Messungen mit Quelle und Empfänger im selben Bohrloch mit dem Suspension Logging-System 170 P-S von OYO durchgeführt. Es befinden sich 2 biaxiale Empfänger (horizontaler/vertikaler Sensor) und ein Magnethammer als Energiequelle im Bohrloch (dominierende S-Wellen-Frequenz 500 bis 2.000 Hz, P-Wellen-Frequenzen 1.000 bis 3.000 Hz). Der Abstand der Energiequelle zum Empfänger beträgt ca. 7,11 bis 7,17 ft, der Abstand zwischen den Empfängern ca. 3,33 bis 3,36 ft. Die Messabstände im Bohrloch betragen 0,5 m bei 3-maliger Anregung an einem Punkt. Als Ergebnis werden Scherwellen- und Kompressionswellengeschwindigkeit sowie die Poisson-Zahl angegeben.

In einigen Fällen, v.a. bei Kompressionswellen, konnte der Ersteinsatz nicht eindeutig festgelegt werden. Generell sind mit dieser Methode Aufnahmen von Kompressionswellen oberhalb des Wasserspiegels schwierig. Durch Streuung und Dämpfungseffekt z.B. durch Risse, Hohlräume, Klüfte und Störungen können Signalverluste auftreten. Der Mittelwert der Scherwellengeschwindigkeiten lag meist über 5.000 ft/s. Dort wo Werte < 5.000 ft/s gemessen wurden, war meist stark geklüftetes Gestein anzutreffen. Eine bessere Korrelation könnte durch das Auftragen der Geschwindigkeiten als Funktion der lithostratigraphischen Einheit (statistischer Vergleich) und der Klüfthäufigkeit erreicht werden, allerdings ist die Klüftung des Gesteins nicht bekannt.

Kaliber und Gamma-Gamma:

Kaliber und Gamma-Gamma an 7 damals vorhandenen Bohrlöchern. Kalibermessung mittels 4-Arm-Kaliber, wobei eine Divergenz im Bohrloch Ausdruck für Klüftung oder Erosion der Wände durch die Bohrflüssigkeit ist, aber auch durch andere Faktoren verursacht sein kann. Das Ausmaß der Bohrlochwandererosion durch die Bohrflüssigkeit kann quantitativ erfasst werden. Gamma-Gamma-Messung mittels dual-detector Formation Density Logging Device (FDLD), welche durch 2 Detektoren mit unterschiedlichen Abständen zur Quelle und somit unterschiedlichen Eindringtiefen eine Kompensation (Korrektur) des Filterkuchens im Bohrloch ermöglicht. Mittels Gamma-Gamma-Messungen kann die Dichte des Untergrundmaterials bewertet und zur Identifizierung lithostratigraphischer Einheiten beigetragen werden. Die Ringraumfüllung (mud cake) zwischen Gestein und Gamma-Quelle oder zwischen den Detektoren und dem Gestein beeinträchtigen das Ergebnis und werden hier durch die Messanordnung mit 2 Detektoren korrigiert, wodurch die korrekte Formationsdichte bestimmt werden kann.

Konkrete Bohrlochmessungen: Kalibermessung am Dichte-Tool (CAL), Gesteinsdichte (RHOB) und Korrektur, Gamma-Ray-Intensität (GR), photoelektrical capture cross Section (PEF). Mit BMV können Tiefe und Kontakte lithostratigraphischer Einheiten aufgelöst werden. Die Genauigkeit der lithostratigraphischen Kontakte aus Bohrungen kann mittels geophysikalischer Bohrlochmessungen verbessert werden, z.B. bei gradierten Kontakten von 30 ft Unsicherheit (mud rotary Bohrverfahren) auf ± 5 bis 15 ft.

OCRWM (2002b)

Qualität: 2 Quantität: 2

Trotz spezifischer Untersuchungsverfahren Qualität 2, da die Aussagesicherheit der Ergebnisse der Suspension-Seismic-Messungen unklar ist.

B1.4 Geol. Kartierung

Geologische Kartierung wurde im Maßstab 1 : 12.000 durchgeführt. Schürfe sowie Messungen von Störungen, Klüften usw. sind eingeschlossen.

USDOE (1988), USDOE (1997).

Qualität: 2 Quantität: 3

B1.5 Bohrungen

Die geologisch/strukturelle Ansprache von Kernmaterial ist grundsätzlich die Basis für eine detaillierte lithostratigraphische Charakterisierung der vorliegenden vulkanischen Einheiten. Die im Rahmen des Yucca Mountain-Projektes bei der Kernaufnahme erfassten Daten sind (für Details der Bohrkernaufnahme s. BRECHTEL et al. (1995)):

Kerngewinn; Häufigkeit und Ausbildung von tektonischen Störungszonen, Rissen oder Klüften, mechanische Integrität des Kernstückes (kompakt/aufgelockert); Verwitterungsgrad, Klassifizierung nach dem RQD-Wert ("Rock Quality Designation Index"); lithophysale Hohlräume oder Risse

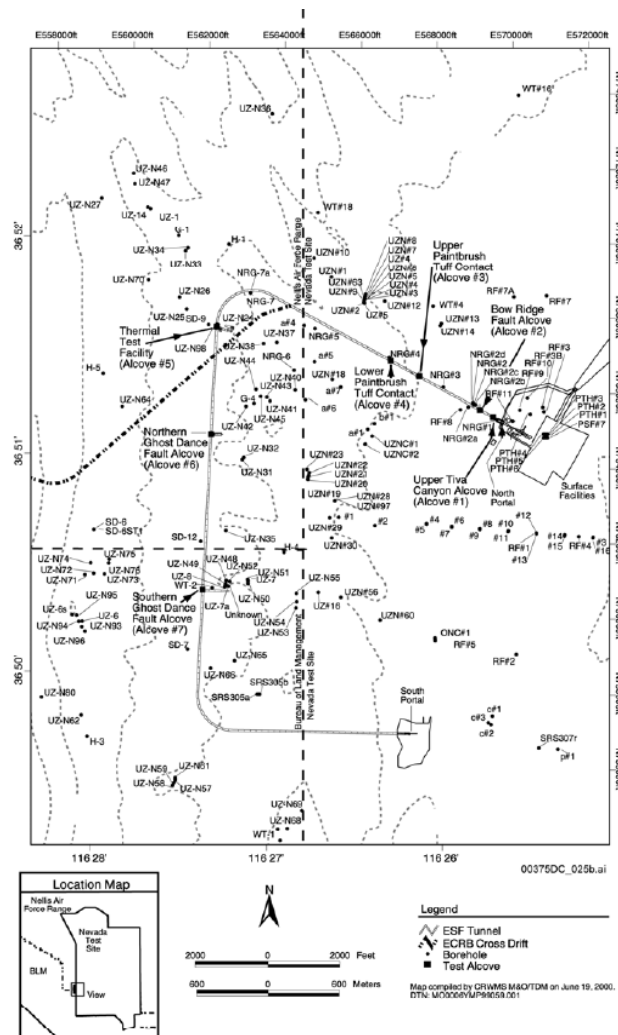


Abb.: Karte der bis 2000 an der „Yucca Mountain-Site“ niedergebrachten Bohrungen bzw. Erkundungsstrecken (aus BSC, 2004).

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B1.7 Feldmessungen - Geochemie

B1.8 Feldmessungen – Geomechanik

B1.9 Labor

Entsprechend der jeweiligen Zielsetzung kann eine geologische Einheit nach lithostratigraphischen, hydrogeologischen und thermomechanischen Gesichtspunkten untergliedert werden. Innerhalb der vulkanischen Gesteine der Yucca Mountain lässt sich zeigen, dass die Grenzen der verschiedenen in der geologischen Ansprache ausgehaltenen lithostratigraphischen Einheiten (lithophysale bzw. non-lithophysalen Zonen sowie Unterzonen, vgl. untenstehende Abb.) auch mit petrophysikalischen Homogenbereichen (Bereiche mit vergleichbaren gesteinsphysikalischen Eigenschaften), wie sie auf Basis von Labormessungen (z.B. von Dichte, Porosität, einaxiale Festigkeit sowie thermische Ausdehnung) oder geophysikalischen Logs charakterisiert wurden, korrelieren (FLINT et al. 2006).

Aufgrund der vorliegenden lithologischen Streuung werden Untereinheiten bei einer späteren Modellierung zumeist vereinfachend zusammengefasst. Ursächlich hierfür ist der lokal variierende Grad der Tuffausbildung im Übergang zu kompakteren oder aufgelockerten Einheiten, wobei zusätzlich noch der Anteil von Porenräumen („Lithophysae“) einen erheblichen Einfluss besitzt.

Die ausgewiesenen Homogenbereiche werden bei den thermomechanischen Modellrechnungen berücksichtigt.

Qualität: 2 Quantität: 3

Aufgrund der lithologischen Streuung ist die „Schärfe“ einer auf Basis petrophysikalischer Labormessungen ausgewiesenen Zonierung nur schwach.

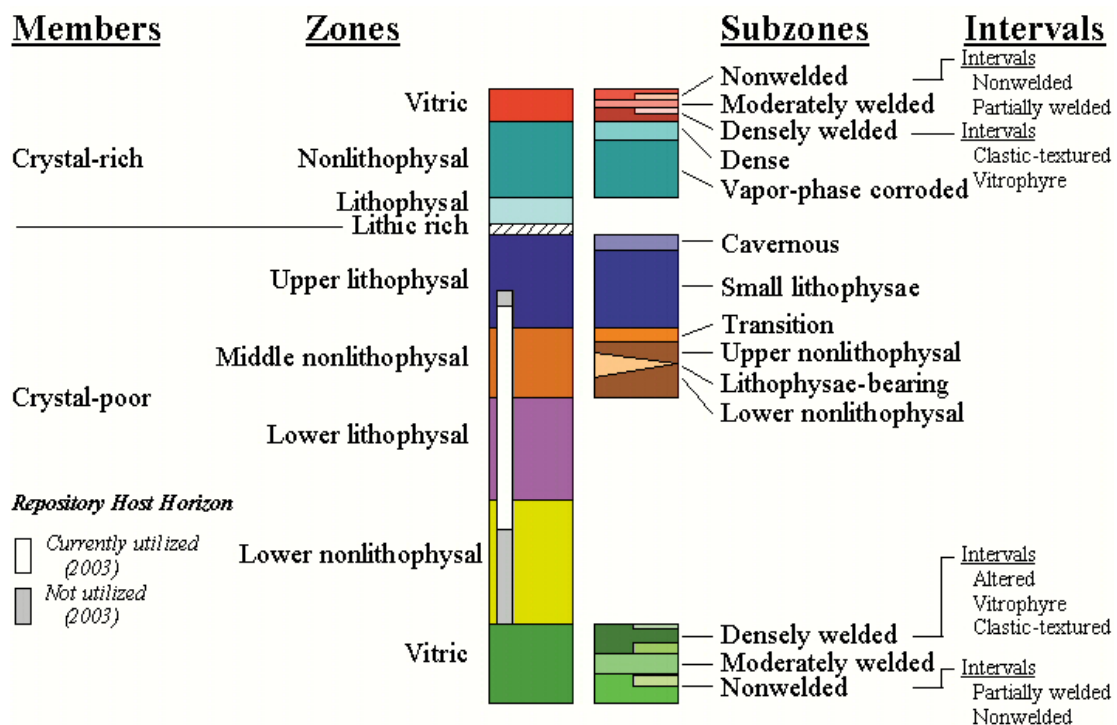


Abb.: Lithostratigraphische Einheiten aus RIGBY (2004).

B1.10 Untertage Geophysik

B1.11 Untertage geol. Kartierung

Für die geowissenschaftliche In-situ-Erkundung der Yucca Mountain-Tuff-Formation ist ein Erkundungsbergwerk („Exploratory Studies Facility (ESF)“) bergmännisch aufgefahren worden, das über eine Zugangsrampe (Länge: 7,9 km; Durchmesser: 7,6 m) 1997 erschlossen wurde. Ein zweiter Zugangstunnel, die sogen. „Cross Drift“, die vor allem der Erkundung der westlichen Bereiche diente, wurde 1998 fertiggestellt (Länge: 2,7 km, Durchmesser: 5,0 m). Während der Streckenauffahrung erfolgte parallel eine geologische Kartierung.

Qualität: 3 Quantität: 3

B1.12 Untertage Bohrungen**B1.13 Untertage In-situ-Messungen****B1.14 Untertage Labor****B2 Geometrie****B2.1 Fernerkundung****B2.2 Geophysik (übertägig)**

Um den Kontakt zwischen Tertiär und Paläozoikum zu erhalten, wurde VSP in Bohrlöchern durchgeführt. Mitteltiefe seismische Refraktions- und Reflexionsmessungen, flache Reflexionsseismik (minisose), detaillierte Gravimetrie-Kampagnen, detaillierte aeromagnetische Kampagnen, bodenmagnetische und geoelektrische Erkundung, Gamma-Ray-Messungen, thermische Infrarotmessungen (S. 139) → Klärung der untertägigen Geometrie und Aufdeckung versteckter Fortsetzungen quartärer Störungen. Geophysikalische Methoden zur Darstellung des Kontaktes zwischen Alluvium und Grundgebirge. Bestimmung der Tiefe, Mächtigkeit und seitlichen Ausdehnung von Boden und stratigraphischen Einheiten. Ermittlung der Untergrundeigenschaften potenzieller Standorte für die oberirdischen Bauwerke. Seismische Tomographie (Oberfläche bis Endlagerhorizont) → bis 2002 noch unveröffentlichte Daten und Interpretationen.

USDOE (2002)

Qualität: 2 Quantität: 3

Bewertung aufgrund der Anwendung mehrerer geophysikalischer Verfahren mit integrativer Interpretation. Kein Hinweis auf Modellierung.

B2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**B2.4 Geol. Kartierung**

Geologische Kartierung wurde im Maßstab 1 : 12.000 durchgeführt. Schürfe sowie Messungen von Störungen, Klüften usw. sind eingeschlossen.

USDOE (1988), USDOE (1997)

Qualität: 2 Quantität: 3

B2.5 Bohrungen**B2.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B2.7 Feldmessungen - Geochemie****B2.8 Feldmessungen - Geomechanik****B2.9 Labor****B2.10 Untertage Geophysik****B2.11 Untertage geol. Kartierung****B2.12 Untertage Bohrungen****B2.13 Untertage In-situ-Messungen****B2.14 Untertage Labor**

B3 Makro-Struktur

B3.1 Fernerkundung

Die Lokation von Störungen erfolgte mittels Fernerkundung, um mögliche Standorte für übertägige Einrichtungen auszuweisen. Als Endergebnis konnten Störungen quartärer Aktivität identifiziert werden. Es folgten keine weiteren Untersuchungen.

USDOE (2002)

Qualität: ? Quantität: ?

B3.2 Geophysik (übertägig)

Einsatz geophysikalischer Methoden zur Lokalisierung von Diskontinuitäten und Strukturbesonderheiten.

Seismik:

5 *Refraktionsprofile* im Nahbereich von Yucca Mountain

Anzeige komplexer Störungen in prätertiären Schichten. Aussagen zu Tiefe und Symmetrie der interpretierten prätertiären Oberfläche möglich (hier maximal 3,5 km, asymmetrisch). Abschätzung der Mächtigkeit tertiärer vulkanischer Abschnitte (hier 1,25 km mächtig). Basierend auf der Geometrie einiger tiefer Refraktionshorizonte werden Aussagen zur Aktivität einzelner flacher känozoischer Abscherungsstörungen getroffen. Es wird vermutet, dass die modernen Abscherungsflächen an der Oberfläche von Yucca Mountain mit dem Kontakt zum Prätertiär zusammenfallen.

Reflexionsseismik und hochauflösende Reflexionsseismik-Profile über verschiedenen Störungen in der Nähe von Yucca Mountain mit dem Ziel, die Störungen zu charakterisieren. Es kann gezeigt werden, dass viele der Störungen komplex aufgebaut sind, sich auffächern und mehrere hundert Meter breite Zonen bilden.

Tests zeigen, dass vibroseismische Methoden gut geeignet sind, um die Krustenstruktur bis in 4 bis 5 s Zweiwegelaufzeit (12 bis 15 km Tiefe) abzubilden. Somit lassen sich mit ihnen Geometrie und Störung von tertiären Sedimenten ermitteln und basaltische miozäne Laven lokalisieren. Das Auftreten diskontinuierlicher Reflexionsprofile im prätertiären Grundgebirge wird als Ausdruck mesozoischer Deckenüberschiebungen vermutet.

Tests mit explosiven Quellen ermöglichen scharfe Abbildungen der reflektiven unteren Kruste und Vermutungen zur Schichtmächtigkeit.

Reflexionsseismische Methoden erwiesen sich als geeignet, um die Mächtigkeit der Kruste zu interpretieren, Aussagen zur Geometrie des Prätertiär / Tertiär-Kontaktes und der regionalen Krustenstruktur zu treffen.

OLIVER et al. (1995)

VSP:

Vertical Seismic Profiling (VSP) in 10 Bohrlöchern nahe des Endlagers bis auf Endlagerteufe und multi-offset-VSP mit P- und S-Wellen an 2 Bohrlöchern, um Bruch- und Störungscharakteristika zu interpretieren. Das Ziel der Messungen wurde erreicht.

Es folgten weitere VSP-Messungen mit P- und S-Wellen, um site seismic response-Modelle zu erstellen. Die Aufnahme weiterer VSP-Daten erfolgte nach dem Stand der Technik von 1996. Eine Auswertung stand 2002 noch aus.

USDOE (2002)

SASW und downhole-Seismik:

siehe B1.2

Flache Downhole-Geschwindigkeitsprofile und 33 SASW-Kampagnen entlang des Yucca Mountain-Rückens unmittelbar über dem geplanten Endlager.

Ein Vergleich der mittleren Scherwellengeschwindigkeitsprofile parallel und senkrecht zum Bergrücken zeigt Unterschiede von bis zu 600 ft/s in den oberen 150 ft. Dies wird als Anisotropie aufgrund von paralleler Klüftung in den oberflächennahen Einheiten gedeutet. Z.T. sind mittels SASW die Bereiche

intakten Gesteins (mit hohen Geschwindigkeiten) lokalisierbar. Bei zu großen Messpunktabständen ist die Geschwindigkeit dieser einzelnen Bereiche jedoch nicht mehr auflösbar.

OCRWM (2002b)

Qualität: 2 Quantität: 2

Magnetik:

Magnetik-Daten werden zur Interpretation von tektonischen Strukturen und Rotationsbewegungen betroffener (vulkanischer) Gesteinseinheiten relativ zu diesen Strukturen genutzt.

USDOE (2002)

Qualität: 2 Quantität: 2

B3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Das geplante cross hole tomographic imaging in einigen nahe beieinander liegenden Bohrlöchern konnte bis auf eine Testmessung nicht durchgeführt werden, da keine Bohrlöcher im entsprechenden Abstand und mit ausreichender Tiefe vorhanden waren. Die Länge der Löcher unterhalb des Wasserspiegels sollte mindestens das Zweifache der Bohrlochentfernung sein. In trockenen Bohrlöchern ist die erforderliche Datenqualität nicht realisierbar (S. 79).

USDOE (2002)

Ohne Bewertung, da der Nutzen der Untersuchung nicht geklärt ist.

B3.4 Geol. Kartierung

Geologische Kartierung wurde im Maßstab 1 : 12.000 durchgeführt. Schürfe sowie Messungen von Störungen, Klüften usw. sind eingeschlossen.

USDOE (1988), USDOE (1997)

Qualität: 2 Quantität: 3

B3.5 Bohrungen

B3.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B3.7 Feldmessungen - Geochemie

B3.8 Feldmessungen - Geomechanik

B3.9 Labor

B3.10 Untertage Geophysik

Seismik:

Spektralanalyse von Oberflächenwellen (SASW):

5 SASW-Kampagnen im N-S-Tunnel der untertägigen Einrichtung. Wilcoxon Model 736 Schwingungssensoren als Empfänger mittels Magneten an Nägeln in Bohrlöchern am Gestein befestigt; übliche Receiver-midpoint Geometrie mit Abständen von 6 in und 1, 2, 4, 8, 16, 32 ft; verschiedene Hämmer von 4 oz. bis zu 6 lb. zur Erzeugung der Oberflächenwellen entlang der Tunnelwand.

Ziel war die Ermittlung der Scherwellengeschwindigkeitsstruktur zwischen dem potenziellen Endlager und dem Yucca Mountain-Rücken zwischen 700 und 1.000 ft Tiefe unmittelbar über dem Endlager und die Eingrenzung des Scherwellengeschwindigkeitsprofils in größeren Tiefen.

Ergebnis: Das intakte Tuffgestein mit wenigen Klüften zeigt Scherwellengeschwindigkeiten von 6.000 bis 7.000 ft/s. Niedrigere Geschwindigkeiten in geringen Tiefen im Tunnel sind wahrscheinlich auf Klüftung durch den Tunnelbau zurückzuführen. Bei zunehmender Klüftung nahe der Tunnelwände nehmen diese auf 3.000 bis 4.000 ft/s ab. Aufgrund geringer Messdichte sind die einzelnen Schichten bzw. Bereiche jedoch nicht auflösbar.

OCRWM (2002b)

Qualität: 2 Quantität: 2

B3.11 Untertage geol. Kartierung

Zur bautechnischen Bewertung der Wirtsgesteineigenschaften erfolgte eine ingenieurgeologische Klassifizierung der Integrität des anstehenden Gebirges auf Basis der Ansprache von Bohrkernen sowie der bei der Auffahrung aufgeschlossenen Gesteinseinheiten. Als Maß werden das sogen. Q- („Rock Mass Quality“) und RMR-System („Rock Mass Rating“) verwandt.

Bei beiden Systemen erfolgt auf Basis von sechs für beide Systeme unterschiedlicher Parameter bestimmter Kennwerte eine Einordnung in fünf Qualitätsklassen.

Qualität: 2 Quantität: 3

Ingenieurgeologisch übliche Vorgehensweise, die aber nur eine sehr grobe auf bautechnische Belange ausgerichtete Beschreibung ermöglicht und in der Praxis zumeist durch die bergmännische Erfahrung ersetzt wird.

B3.12 Untertage Bohrungen

Bei der Auffahrung der Nord-Rampe (NRG - „North access Ramp Geologic holes“) erfolgte eine systematische Klassifizierung der Bohrkern nach dem Q- und RMR-System (s. B3.11).

Qualität: 1 Quantität: 3

In Bohrlöchern ist keine räumliche Zuordnung von Rissstrukturen möglich.

B3.13 Untertage In-situ-Messungen

Zur quantitativen Bewertung der statistischen Streuung von RMR- und Q-Datensätzen in Abhängigkeit von Datenerfassungsmethodik wurden bei der Auffahrung der Nord-Rampe (NRG - „North access Ramp Geologic holes“) sowie des ESF-Feldes („Exploratory Studies Facility“) verschiedene Techniken ausgewertet (s. B3.11) (BSC, 2004):

- Datenerfassung entlang einer Scan-Linie in Fünf-Meter-Abständen
- integrale Gesteinsansprache aufgeschlossener Gebirgseinheiten am Stoss
- Datenerfassung in den NRG-Bohrlöchern

Auf Basis der statistischen Auswertung erfolgte eine konservative Bewertung der bautechnischen Notwendigkeiten.

Qualität: 2 Quantität: 3 (s. B3.11)

B3.14 Untertage Labor

Zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften von Rissen oder Klüften wurden direkte Schertests an natürlichen Proben aus den Bohrungen UE25-NRG-4, USW-NRG-6, USW-NRG-7 und USW-SD-9 durchgeführt (OLSSON & BROWN 1997). Als Versuchsergebnisse liegen jeweils Messwerte zur Scherfestigkeit in Abhängigkeit von der Scherverschiebung bei definierter Normalspannung vor. Auf Basis der Untersuchungen wurden Mohr-Coulomb-Parameter (C und ϕ) für die untersuchten Trennflächen bestimmt.

Qualität: 3 Quantität: 1

„State of the Art Methode“, aber aufgrund der großen Variabilität der Klüfte und Störungen sind die Messungen nicht repräsentativ.

B4 Mikro-Struktur**B4.1 Fernerkundung****B4.2 Geophysik (übertägig)****B4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B4.4 Geol. Kartierung****B4.5 Bohrungen**

B4.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B4.7 Feldmessungen - Geochemie****B4.8 Feldmessungen - Geomechanik****B4.9 Labor****B4.10 Untertage Geophysik****B4.11 Untertage geol. Kartierung****B4.12 Untertage Bohrungen****B4.13 Untertage In-situ-Messungen****B4.14 Untertage Labor****B5 In-situ-Spannungsverhältnisse****B5.1 Fernerkundung****B5.2 Geophysik (übertägig)****B5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B5.4 Geol. Kartierung****B5.5 Bohrungen****B5.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B5.7 Feldmessungen - Geochemie****B5.8 Feldmessungen - Geomechanik****B5.9 Labor****B5.10 Untertage Geophysik****B5.11 Untertage geol. Kartierung****B5.12 Untertage Bohrungen****B5.13 Untertage In-situ-Messungen**

In-situ-Spannungsbestimmungen im Einlagerungsbereich wurden ausschließlich mit dem Hydrofrac-Verfahren durchgeführt (z.B. LEE & HAIMSON, 1999). Im Rahmen des DST-Versuches (vgl. B7a.8) wurde eine umfassende Charakterisierung der lokalen Spannungssituation im Versuchsfeld durchgeführt. Auf Basis der Bohrloch- und In-situ-Messungen wurde das lokale Spannungsfeld bestimmt (vgl. Tab.)

Tab.: Lokales Spannungsfeld im Bereich des ESF auf Basis von Hydrofrac-Messungen (ECM, 2004)

Hydraulic Fracturing Measurements				
Parameter	DTN: SN0308F3710195.003 [DIRS 166458]		DTN: SNF37100195002.001 [DIRS 131356]	
	Value		Value	
Vertical Stress	4.3 to 4.7 Mpa		NM	
Minimum Horizontal Stress	2.1 Mpa	+/- 0.1 Mpa	1.7 Mpa	+/- 0.1 Mpa
Maximum Horizontal Stress	3.5 Mpa	+/- 0.1 Mpa	2.9 Mpa	+/- 0.4 Mpa
Bearing of Minimum Horizontal Stress	N65°W	+/- 15°	N75°W	+/- 14°
bearing of Maximum Horizontal Stress	N25°E	+/- 15°	N15°E	+/- 14°
Historical Estimate of In Situ Stress Conditions ^a				
Parameter	Average Value	Range of Values		
Vertical Stress	7.0 Mpa	5.0 - 10.0 MPa		
Minimum Horizontal/Vertical Stress Ratio	0.5	0.3 - 0.8		
Maximum Horizontal/Vertical Stress Ratio	0.6	0.3 - 1.0		
Bearing of Minimum Horizontal Stress	N57°W	N50°W - N65°W		
Bearing of Maximum Horizontal Stress	N32°E	N25°E - N40°E		

DTNs: SN0308F3710195.003 [DIRS 166458]; SNF37100195002.001 [DIRS 131356]

Source: ^a CRWMS M&O 1997 [DIRS 103564], Table 3-2, p. 3-23

NOTE: NM = Not Measured.

Qualität: 2 Quantität: 3 (keine Vergleichsmethoden)

B5.14 Untertage Labor**B6 Mineralogie****B6.1 Fernerkundung****B6.2 Geophysik (übertägig)****B6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B6.4 Geol. Kartierung****B6.5 Bohrungen****B6.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B6.7 Feldmessungen - Geochemie****B6.8 Feldmessungen - Geomechanik****B6.9 Labor****B6.10 Untertage Geophysik****B6.11 Untertage geol. Kartierung****B6.12 Untertage Bohrungen****B6.13 Untertage In-situ-Messungen****B6.14 Untertage Labor****B7 Petrophysikalische Eigenschaften****B7a Gesteinsmechanik****B7a.1 Fernerkundung**

B7a.2 Geophysik (übertägig)

Geophysikalische Methoden dienen generell zur In-situ-Messung von Boden- und Gesteinseigenschaften.

Im Zuge der Erstellung von Bodenbewegungsmodellen (siehe A6.2) wurden auch flachseismische Geschwindigkeitsprofile in unmittelbarer Umgebung des potenziellen Endlagerstandortes aufgenommen, um anhand des elastischen Verhaltens Rückschlüsse auf die Bodenbewegung bei möglichen seismischen Events zu ziehen und das Endlager entsprechend auszubauen.

USDOE (2002)

SASW (Spectral Analysis of Surface Waves) (S. 102):

Scherwellen-Geschwindigkeitsprofile aus der Spektralanalyse von Oberflächenwellen. Fläche der Abfallanlage ca. 1.886 ft x 1.143 ft. Mark Products Modell L-4C-Seismometer mit natürlicher Frequenz von 1 Hz. Aufnahme von Serien mit zunehmenden Abständen (3, 6, 12, 25, 50, 100, 200 ft), um in Tiefen bis zu 150 ft vorzudringen. Diverse Anregungsquellen je nach Receiver-Abstand: Geologenhammer, Vorschlaghammer, Bulldozer (> 25 ft), Tiefenprofile mit Vibroseis-Fahrzeug. Insgesamt wurden 35 Scherwellen-Geschwindigkeitsprofile ermittelt und 40 SASW surveys z.T. nahe der Bohrlöcher durchgeführt, um einen Abgleich mit seismischem Downhole-Geschwindigkeitsprofil zu haben; hauptsächlich in Streichrichtung der Schichten, um mögliche 2- und 3-dimensionale Variationen zu minimieren.

Ziel war die Schätzung der Scherwellengeschwindigkeits-Struktur bis in eine Tiefe von ca. 150 ft in engen Intervallen über und nahe der potenziellen Endlagerstätte. Generierung von Oberflächenwellen an einem Punkt, Registrierung an 2 oder mehr, mit radialstrahliger Entfernung angeordneten Punkten, Phasen-Plots für jeden Abstand, Kombination zu einer zusammengesetzten Dispersionskurve, iterative Modellierung, um ein Festigkeitsprofil zu erstellen.

Ergebnis: aufgrund von Platzgründen und Hindernissen am Standort war nicht bei allen Abständen ein Testen in beide Richtungen möglich, was aber unerhebliche Effekte hatte; Abgleich mit generalisierter Lithologie des nächstgelegenen Bohrlochs; SASW-Technik nur für 1D-Modelle, laterale Variabilität entlang der Ausdehnung der Receiver erfassbar; Vergleich der Geschwindigkeitsprofile beider Seiten der Störung im SE; durch Abgleich mit stratigraphischem Querschnitt ist die Mächtigkeit der quartären Lockersedimente des Hangendblocks bestimmbar.

OCRWM (2002b)

Qualität: 1 Quantität: 2

Der Nutzen für die Bestimmung gesteinsmechanischer Parameter kann nicht genau beurteilt werden, deshalb Reduzierung von Qualität 2 auf 1.

B7a.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**B7a.4 Geol. Kartierung****B7a.5 Bohrungen**

Mit Blick auf die Standsicherheit der Übertageanlagen wurden ein bodenmechanisches und geophysikalisches Untersuchungsprogramm der an der Oberfläche vorliegenden Lockersedimente durchgeführt. Hierfür wurden 15 Bohrungen sowie vier Schürfe erstellt

BSC (2004)

Qualität: 2 Quantität: 2

B7a.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B7a.7 Feldmessungen - Geochemie****B7a.8 Feldmessungen - Geomechanik**

B7a.9 Labor

Für die Bestimmung mechanischer Kennwerte des Tuffs wurden bereits frühzeitig umfangreiche Festigkeitsversuche an Kernmaterial aus übertägigen Bohrungen durchgeführt (vgl. B7a.14):

- Bestimmung der lateralen und vertikalen Variabilität gesteinsmechanischer Kenngrößen: Standardserientests (einaxiale sowie triaxiale Kompressionstests) unter konstanten Versuchsbedingungen für Manteldruck und Temperatur sowie vollständiger Sättigung (Probengeometrie l/h: 2 : 1; vor 1986 Probendurchmesser 25,4 mm; danach 50,8 mm)

Qualität: 1 Quantität: 2

Aufgrund der kleinmaßstäblichen Probengröße konnte der Einfluss von Porenraumstrukturen nicht adäquat erfasst werden, deshalb Qualitätsreduzierung auf 1.

An Bodenproben im Bereich der Übertageanlagen wurden bodenmechanische Standardversuche, wie Korngrößenbestimmungen, Kompressions- und Schertests durchgeführt.

Qualität: 2 Quantität: 2

B7a.10 Untertage Geophysik**B7a.11 Untertage geol. Kartierung****B7a.12 Untertage Bohrungen****B7a.13 Untertage In-situ-Messungen**

Zur Erweiterung des Untersuchungsmaßstabes, insbesondere zur Untersuchung möglicher Skaleneffekte aufgrund lithologischer Inhomogenitäten, die im Rahmen kleinmaßstäblicher Festigkeitsuntersuchungen an Kernproben nicht erfasst werden können, sind lang andauernde In-situ-Messungen für eine Kalibrierung der gebirgsmechanischen Modellrechnungen unerlässlich. Im Rahmen zweier Großtests („Single Heater Test“ (SHT) und „Drift Scale Test“ (DST)) wurden jeweils komplexe Messfelder eingerichtet:

SHT (Erfassung thermomechanischer Effekte): Instrumentierung mit Bohrlochextensometern und Druckzellen sowie chemisch/thermischen Messgebern

DST: 50 m lange Strecke ($\varnothing = 5$ m), instrumentiert mit ca. 3.700 Sensoren, davon viele in Bohrlöchern, zur Erfassung thermischer, mechanischer, chemischer und hydraulischer Zustandsgrößen. Während des Versuchs wurden ungefähr 10.000 m³ Gestein bis oberhalb 100°C aufgeheizt (Kontakttemperatur 200°C) - Versuchsdauer 2 Jahre. Begleitend wurde ein Lastplatten-großversuch durchgeführt.

Darüber hinaus liegen verschiedene Ergebnisse zur Belastung von großformatigen Bohrschlitzten vor (s. Tab.), bei denen in situ eine großvolumige Gesteinsprobe definiert über Druckkissen belastet wurde und deren Verformungsverhalten mittels numerischer Modellrechnungen rückgerechnet werden konnte.

RIGBY (2004)

Qualität: 3 Quantität: 3

Tab.: Literaturverweise zu Belastungstests an Bohrlochschlitzen (s. RIGBY 2004)

Slot Test #	Data Type	DTNs
1	Slot Test Results:	SN0207F4102102.001, SN0208F4102102.002
	Feature Abundances:	SN0301F4102102.007, SN0301F4102102.008
2	Slot Test Results:	SN0212F4102102.003, SN0212F4102102.004
	Feature Abundances:	SN0302F4102102.009, SN0302F4102102.010
3	Slot Test Results:	SN0301F4102102.005, SN0301F4102102.006
	Feature Abundances:	SN0303F4102102.011, SN0303F4102102.012

Source: BSC 2003 [DIRS 166660], Section 8.7.4.3

B7a.14 Untertage Labor

Für die Bestimmung der notwendigen mechanischen Kennwerte an Kernmaterial aus Bohrungen von übertage sowie im Rahmen der untertägigen Erkundung wurde über einen Zeitraum von mehreren Dekaden ein aufwändiges Untersuchungsprogramm in verschiedenen Phasen mit unterschiedlichen Versuchstechniken für die jeweilige Zielsetzung durchgeführt, dabei wurden mehr als 1.000 Proben bezüglich einaxialer Festigkeit, E-Modul, Poisson-Zahl und Porosität untersucht (BSC 2003) (für die Quellennachweise s. Tab.):

- Bestimmung der lateralen und vertikalen Variabilität gesteinsmechanischer Kenngrößen: Serientests (einaxiale und triaxiale Kompressionstests) unter konstanten Versuchsbedingungen für Manteldruck und Temperatur sowie vollständiger Sättigung (vor 1986 Probendurchmesser 25,4 mm; danach 50,8 mm)
- Untersuchung der Zugfestigkeit: Spaltzugversuche
- Erweiterung der experimentellen Datenbasis für ein weites Feld von Belastungsbedingungen (Manteldruck, Belastungsrate, Temperatur, Anisotropie) sowie lithologischer Einflussfaktoren (Probengröße, Porenraumanteil und -verteilung)
- In 2002/2003 Vervollständigung der experimentellen Datenbasis, insbesondere zu Skaleneffekten sowie Einfluss unterschiedlicher Sättigungseffekte:
 - einaxiale Untersuchungen an zylindrischen Großproben bis 290 mm Durchmesser von untertage (Sandia National Laboratories)
 - einaxiale Untersuchungen an Würfelgroßproben (University of Nevada - Las Vegas)

Zur Bewertung der geomechanischen Laboruntersuchungen mit Kompressionstests wurden, insbesondere für das Verständnis von Hohlraumeffekten, aufwändige numerische Modellrechnungen, z.T. mit UDEC bzw. dem Particle Flow Code (PFC2D) der Fa. ITASCA, durchgeführt, wobei qualitativ die experimentell bestimmten Spannungs-/Dehnungskurven nachvollzogen werden konnten (RIGBY 2004). Die Nutzenanwendung dieser vom Ansatz her sehr leistungsfähigen Methodik wird aber aufgrund des großen Rechenbedarfs für komplexere Modelle (reale In-situ-Situation) stark begrenzt.

- Zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften von Rissen oder Klüften wurden direkte Schertests an natürlichen Proben aus den Bohrungen UE25-NRG-4, USW-NRG-6, USW-NRG-7 und USW-SD-9 durchgeführt (OLSSON & BROWN 1997). Als Versuchsergebnisse liegen jeweils Messwerte zur Scherfestigkeit in Abhängigkeit von der Scherverschiebung bei definierter Normalspannung vor. Auf Basis der Untersuchungen wurden Mohr-Coulomb-Parameter (C und ϕ) für die untersuchten Trennflächen bestimmt.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 3

Erst im Laufe der mehrere Dekaden andauernden Forschungsarbeit wurde die Komplexität des gesteinsmechanischen Verhaltens der Tuffgesteine und insbesondere der Einfluss der Hohlraumstrukturen erkannt, womit ein Teil der durchgeführten Untersuchungen für die Bestimmung qualifizierter Parameter für Stoffgesetze nicht mehr geeignet war.

Tab.: Literaturverweise zu gesteinsmechanischen Untersuchungen an Kernproben, bei denen jeweils auch die Porosität bestimmt wurde (s. RIGBY 2004)

Yucca Mountain Mechanical Tests on Rock Specimens with Porosity Data		
Source of Rock	Size Specimen (Diameter)	DTNs
Borehole cores	25 mm (1-in)	SNL02030193001.019, SNSAND83164600.000, SNSAND84110100.000, and SNSAND85070300.000
Borehole cores	50 mm (2-in) and 57 mm (2.2-in)	SNL02030193001.001, SNL02030193001.002, SNL02030193001.004, SNL02030193001.012, SNL02030193001.014, SNL02030193001.016, SNL02030193001.018, SNL02030193001.019, SNL02030193001.020, SNSAND80145300.000, SNSAND83164600.000, and SNSAND85070300.000
Busted Butte cores	50 mm (2-in)	SNL02040687003.001
Busted Butte cores	267 mm (10.5-in)	SNSAND84086000.000
ESF and ECRB Cross-Drift	290 mm (11.5-in)	SN0208L0207502.001, SN0211L0207502.002, SN0305L0207502.005, and SN0305L0207502.006
Yucca Mountain Mechanical Tests on Large-Size Rock Specimens without Porosity Data		
Busted Butte	various sizes	SN0306L0207502.008
ESF and ECRB Cross-Drift	146 mm (5.75-in)	SN0302L0207502.003 and SN0305L0207502.004

Source: BSC 2003 [DIRS 166660], Section 8.4. In addition to the above DTNs the DTN of qualified compressive strength values is MO0311RCKPRPCS.003 and DTN of qualified Young's Modulus values is MO0402DQIRPPR.003.

B7b Hydraulisch (z. B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)

B7b.1 Fernerkundung

B7b.2 Geophysik (übertägig)

B7b.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7b.4 Geol. Kartierung

B7b.5 Bohrungen

B7b.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7b.7 Feldmessungen - Geochemie

B7b.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7b.9 Labor

B7b.10 Untertage Geophysik

B7b.11 Untertage geol. Kartierung

B7b.12 Untertage Bohrungen

B7b.13 Untertage In-situ-Messungen

B7b.14 Untertage Labor

B7c Diffusion**B7c.1 Fernerkundung****B7c.2 Geophysik (überfällig)****B7c.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7c.4 Geol. Kartierung****B7c.5 Bohrungen****B7c.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7c.7 Feldmessungen - Geochemie****B7c.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7c.9 Labor****B7c.10 Untertage Geophysik****B7c.11 Untertage geol. Kartierung****B7c.12 Untertage Bohrungen****B7c.13 Untertage In-situ-Messungen****B7c.14 Untertage Labor****B7d Thermisch****B7d.1 Fernerkundung****B7d.2 Geophysik (überfällig)****B7d.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7d.4 Geol. Kartierung****B7d.5 Bohrungen**

Kernmaterial aus verschiedenen Bohrungen wurde bezüglich thermischer Kennwerte intensiv untersucht (s. B7d.9)

B7d.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B7d.7 Feldmessungen - Geochemie****B7d.8 Feldmessungen - Geomechanik**

Mittels eines überfälligen Feldversuches, des sogen. „Large Block-Tests“, bei dem ein Gesteinspfeiler (Grundfläche 3 x 3 m sowie 4,5 m Höhe) aufgeheizt wurde (lokale Temperaturerhöhung bis auf 100°C innerhalb der ersten 100 h), konnten THMC-Prozesse über einen Zeitraum von mehr als einem Jahr quasi-online verfolgt werden. Neben der thermischen Ausdehnung wurde auch die Öffnung bereits latent vorhandener Wegsamkeiten verfolgt.

BSC (2004)

Qualität: 3 Quantität: 1

B7d.9 Labor

Messungen der thermischen Leitfähigkeit des Yucca Mountain-Tuffs wurden seit den frühen 1980er Jahren u.a. für die Bohrungen USW G-1, G-2, G-3 und G-4 durchgeführt.

NIMICK (1989)

Qualität: 2 Quantität: 2

Aufgrund der durch Bohrungen begrenzten Aufschlussverhältnisse liefern die Untersuchungen an Bohrkernproben zwar Matrixkennwerte, sind aber nicht repräsentativ für In-situ-Bedingungen mit komplexen Hohlräumen.

B7d.10 Untertage Geophysik

Neutron-Messungen, elektrische Widerstandstomographie und Bodenradar im Grubenbau.

USDOE (2001)

ohne Bewertung

B7d.11 Untertage geol. Kartierung

B7d.12 Untertage Bohrungen

B7d.13 Untertage In-situ-Messungen

Labor- und Feldmessungen zur Bestimmung des Yucca Mountain-Tuffs waren ein wesentlicher Bestandteil des Untersuchungsprogramms, wobei nicht nur die Bestimmung standortspezifischer thermischer Kenngrößen, d.h. deren räumliche Verteilung in Bezug auf die laterale und horizontale Ausdehnung des geplanten Einlagerungshorizontes, von Bedeutung war sondern auch die Korrelation mit lithologischen Parametern Dichte, Porosität, Rigeometrie und Häufigkeit sowie Feuchtigkeit untersucht wurde. Auf Basis dieser Messungen wurden sowohl räumliche Modelle zur Temperaturentwicklung erstellt als auch die Abhängigkeit z.B. geomechanischer Kenngrößen von der Temperatur quantifiziert. Dabei zeigte sich, dass numerische Modellierungen insbesondere zum Verständnis von Maßstabeffekten eine wichtige Ergänzung der Feldmessungen darstellten.

BSC (2003)

Im Rahmen des „Single Heater Tests“ (SHT) und des „Drift Scale Tests“ (DST) wurden in einem Endlager-relevanten großräumigen Untersuchungsmaßstab Messungen zum Temperatureinfluss durch einen Erhitzer für einen großräumigen Gesteinsbereich durchgeführt:

SHT (Erfassung thermomechanischer Effekte): Instrumentierung mit Bohrlochextensometern und Druckzellen sowie chemisch/thermischen Messgebern

DST: 50 m lange Strecke ($\varnothing = 5$ m), instrumentiert mit ca. 3.700 Sensoren, davon viele in Bohrlöchern, zur Erfassung thermischer, mechanischer, chemischer und hydraulischer Zustandsgrößen. Während des Versuchs wurden ungefähr 10.000 m³ Gestein bis oberhalb 100°C aufgeheizt (Kontakttemperatur 200°C) - Versuchsdauer 2 Jahre. Begleitend wurde ein Lastplatten-großversuch durchgeführt.

Qualität: 3 Quantität: 3

B7d.14 Untertage Labor

Extensive Laboruntersuchungen verschiedener petrophysikalischer Eigenschaften wurden an Kernmaterial aus Bohrungen der im Rahmen der Auffahrung der NW-Rampe erstellten In-situ-Bohrlöcher sowie aus den Bohrungen für den „Single Heater Test“ (SHT) und den „Drift Scale Test“ (DST) durchgeführt.

Aufgrund der lithologischen Variabilität der unterschiedlichen Tuff-Einheiten können die Gesteinseigenschaften bezüglich Dichte, Trockendichte, Porosität und Wassergehalt bzw. Sättigung erheblich variieren. Statistische Auswertungen von Messdaten aus den Bohrungen UE-25 NRG #2, UE-25 NRG #2a, UE-25 NRG #2b, UE-25 NRG #3, and USW NRG #6, USW NRG #7a, USW SD-9, and USW SD-12 sind in BSC (2003) sowie FLINT et al. (2006) dargestellt.

Dabei wurde explizit der Einfluss unterschiedlicher Sättigungsbedingungen und lithologischer Probenparameter (z.B. Porosität, Dichte) bei Temperaturen bis weit oberhalb von 100°C bestimmt. Die Proben waren lufttrocken, Ofen-getrocknet, wassergesättigt unter Vakuum oder teilgesättigt. Als Messverfahren wurden die bei SANDIA entwickelten Standardverfahren eingesetzt.

Im Detail liegen Ergebnisse einer größeren Anzahl von Labormessungen zur thermischen Leitfähigkeit vor, die seit Ende der 90er Jahre an kleinen Proben durchgeführt wurden, wobei ein qualifiziertes

Qualitätsmanagement stattfand (BRODSKY et al. 1997). Die Proben entstammen den Bohrungen UE25 NRG-4, UE25 NRG-5, USW NRG-6 und USW NRG-7/7A. Insgesamt wurden 95 Proben untersucht, wobei insgesamt 143 thermische Leitfähigkeitsbestimmungen ausgeführt wurden.

Auf Basis dieser Messungen liegen statistisch abgesicherte thermische Kennwerte zu den für den Einlagerungsbereich lithologisch relevanten Gesteinseinheiten vor.

Zur Bestimmung der Wärmekapazität liegen Ergebnisse auf Basis chemischer Modalbestandsbestimmungen (20 Proben) mit darauf basierenden Modellrechnungen vor. Experimentelle Messwerte liegen von 10 luftgetrockneten Proben vor.

BSC (2003)

Qualität: 2 Quantität: 3

Aufgrund der durch Bohrungen begrenzten Aufschlussverhältnisse liefern die Untersuchungen an Bohrkernproben zwar Matrixkennwerte, sind aber nicht repräsentativ für In-situ-Bedingungen mit komplexen Hohlräumen („Lihophysale“).

B7e THMC-Kopplung

B7e.1 Fernerkundung

B7e.2 Geophysik (übertägig)

B7e.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7e.4 Geol. Kartierung

B7e.5 Bohrungen

B7e.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7e.7 Feldmessungen - Geochemie

B7e.8 Feldmessungen - Geomechanik

Mittels eines übertägigen Feldversuches, des sogen. „Large Block-Tests“, bei dem ein Gesteinspfeiler (Grundfläche 3 x 3 m sowie 4,5 m Höhe) aufgeheizt wurde (lokale Temperaturerhöhung bis auf 100°C innerhalb der ersten 100 h), konnten THMC-Prozesse über einen Zeitraum von mehr als einem Jahr quasi-online verfolgt werden. Neben der thermischen Ausdehnung wurde auch die Öffnung bereits latent vorhandener Wegsamkeiten verfolgt.

BSC (2004)

Qualität: 3 Quantität: 1

B7e.9 Labor

B7e.10 Untertage Geophysik

B7e.11 Untertage geol. Kartierung

B7e.12 Untertage Bohrungen

B7e.13 Untertage In-situ-Messungen

Im Rahmen des „Single Heater Tests“ (SHT) und des „Drift Scale Tests“ (DST) wurden in einem Endlager-relevanten großräumigen Untersuchungsmaßstab Messungen zum Temperatureinfluss durch einen Erhitzer für einen großräumigen Gesteinsbereich durchgeführt (BSC, 2004):

SHT (Erfassung thermomechanischer Effekte): Instrumentierung mit Bohrlochextensometern und Druckzellen sowie chemisch/thermischen Messgebern

DST: 50 m lange Strecke ($\varnothing = 5$ m), instrumentiert mit ca. 3.700 Sensoren, davon viele in Bohrlöchern, zur Erfassung thermischer, mechanischer, chemischer und hydraulischer Zustandsgrößen. Während des Versuchs wurden ungefähr 10.000 m³ Gestein bis oberhalb 100°C aufgeheizt (Kontakttemperatur 200°C) - Versuchsdauer 2 Jahre. Begleitend wurde ein Lastplatten-großversuch durchgeführt.

Qualität: 3 Quantität: 3

B7e.14 Untertage Labor**B7f Chemische Eigenschaften (z. B. Oxidation, Adsorption)****B7f.1 Fernerkundung****B7f.2 Geophysik (überflächig)****B7f.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7f.4 Geol. Kartierung****B7f.5 Bohrungen****B7f.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7f.7 Feldmessungen - Geochemie****B7f.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7f.9 Labor****B7f.10 Untertage Geophysik****B7f.11 Untertage geol. Kartierung****B7f.12 Untertage Bohrungen****B7f.13 Untertage In-situ-Messungen**

Im Rahmen des „Single Heater Tests“ (SHT) und des „Drift Scale Tests“ (DST) wurden in einem Endlager-relevanten großräumigen Untersuchungsmaßstab neben den thermischen Messgrößen auch Veränderungen chemischer Zustandsgrößen ermittelt.

BSC (2004)

B7f.14 Untertage Labor***C Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)*****C1 Hydraulisch wirksame Einheiten****C1.1 Fernerkundung****C1.2 Geophysik (überflächig)****C1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C1.4 Geol. Kartierung****C1.5 Bohrungen****C1.6 Feldmessungen - Geohydraulik****C1.7 Feldmessungen - Geochemie****C1.8 Feldmessungen - Geomechanik****C1.9 Labor****C1.10 Untertage Geophysik****C1.11 Untertage geol. Kartierung****C1.12 Untertage Bohrungen****C1.13 Untertage In-situ-Messungen****C1.14 Untertage Labor**

C2 Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein**C2.1 Fernerkundung****C2.2 Geophysik (übertägig)****C2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C2.4 Geol. Kartierung****C2.5 Bohrungen****C2.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

Der Wasserdruck wurde an 24 Bohrungen in 31 Intervallen gemessen.

USDOE (1997)

Qualität: 2 Quantität: 1

Zur Bewertung der Quantität wurde die kleinste Bezugsfläche von 4,7 km² angenommen, obwohl die Bohrungen wahrscheinlich auch außerhalb dieser Zone liegen.

C2.7 Feldmessungen - Geochemie**C2.8 Feldmessungen - Geomechanik****C2.9 Labor****C2.10 Untertage Geophysik****C2.11 Untertage geol. Kartierung****C2.12 Untertage Bohrungen****C2.13 Untertage In-situ-Messungen****C2.14 Untertage Labor****C3 Fließ- und Speicherparameter****C3.1 Fernerkundung**

Fernerkundung von pedogenen Karbonatablagerungen, Vegetation und Bruchzonen zur Ausweisung ehemaliger Fluss- und Abflussgebiete. Abschätzung der Grundwasserneubildung und des Oberflächenabflusses mittels einer Methode, welche die geostatistisch abgeleitete Verteilung des jährlichen Durchschnittsniederschlags und die Verteilung des Neubildungspotenzials basierend auf Vegetation, Höhe, Hangneigung, Boden- und Gesteinsdurchlässigkeiten aus Fernerkundungsdaten und GIS-Techniken ermittelt.

USDOE (2002)

Qualität: ? Quantität: ?

C3.2 Geophysik (übertägig)

Feldversuch zum Transport von Wasser und Tracern in der ungesättigten Zone der Calico Hills-Formation, 8 km südöstlich von Yucca Mountain, als vergleichbare Formation zum Liegendgestein des Endlagers. Tracer-markiertes Wasser wurde in Bohrlöcher injiziert und u.a. mit geophysikalischen Techniken registriert.

USDOE (2001)

ohne Bewertung, da die eingesetzten geophysikalischen Verfahren nicht spezifiziert wurden

C3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Bis 1995 ermittelte ein 10 Jahre dauerndes Monitoring den Feuchtegehalt mittels Neutron-Messungen in 69 Bohrlöchern. Die Messungen wurden 1995 eingestellt, da eine ausreichende Datenmenge vorhanden war, welche zur Erstellung eines linearen Regressionsmodells zur Korrelation von jährlichen

flachen Infiltrationsschätzungen aus Neutron-Messungen in Bohrlöchern mit jährlichem Niederschlag, Tiefe zum Grundgebirge und anderen hydrogeologischen Faktoren verwendet wurde.

USDOE (2002)

Qualität: 2 Quantität: 2

Quantität 2, weil die Größe der Monitoring-Fläche nicht bekannt ist.

C3.4 Geol. Kartierung

C3.5 Bohrungen

C3.6 Feldmessungen - Geohydraulik

Es wurden etwas weniger als die geplanten 20 Interferenztests USDOE (1988) in Bohrungen des „C-hole complex“ durchgeführt.

USDOE (1997)

Qualität: 3 Quantität: 2

Zur Bewertung der Quantität wurde die kleinste Bezugsfläche von 4,7 km² angenommen, obwohl diese Bohrungen außerhalb dieser Zone liegen.

Ein Großpumpversuch wurde in Bohrungen des „C-hole complex“ auch mit anderen Beobachtungspunkten durchgeführt.

USDOE (1997)

Qualität: 3 Quantität: 1

Zur Bewertung der Quantität war der kleinsten Bezugsfläche von 4,7 km² genommen, obwohl diese Bohrungen außerhalb dieser Zone liegen.

C3.7 Feldmessungen - Geochemie

C3.8 Feldmessungen - Geomechanik

C3.9 Labor

C3.10 Untertage Geophysik

C3.11 Untertage geol. Kartierung

C3.12 Untertage Bohrungen

C3.13 Untertage In-situ-Messungen

C3.14 Untertage Labor

C4 Zwei-Phasenflussparameter

C4.1 Fernerkundung

C4.2 Geophysik (übertägig)

C4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

C4.4 Geol. Kartierung

C4.5 Bohrungen

C4.6 Feldmessungen - Geohydraulik

C4.7 Feldmessungen - Geochemie

C4.8 Feldmessungen - Geomechanik

C4.9 Labor

C4.10 Untertage Geophysik

C4.11 Untertage geol. Kartierung**C4.12 Untertage Bohrungen****C4.13 Untertage In-situ-Messungen****C4.14 Untertage Labor*****D Hydrochemie*****D1 Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)****D1.1 Fernerkundung****D1.2 Geophysik (übertägig)****D1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D1.4 Geol. Kartierung****D1.5 Bohrungen****D1.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D1.7 Feldmessungen - Geochemie****D1.8 Feldmessungen - Geomechanik****D1.9 Labor**

siehe D2.9 für Einzelheiten der Beprobung

Wasserproben von 64 Bohrungen (einschließlich alle 12 Schichtwasserproben) wurden analysiert; 55 für ^{14}C sowie $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (und auch für $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) sowie 15 Schichtwasserproben für ^{36}Cl .

OCRWM (2000b)

Qualität: 3 Quantität: 1 ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ sowie $^2\text{H}/^1\text{H}$)

Qualität: 3 Quantität: 1 (^{14}C sowie $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$)

Qualität: 3 Quantität: 1 (^{36}Cl)

D1.10 Untertage Geophysik**D1.11 Untertage geol. Kartierung****D1.12 Untertage Bohrungen****D1.13 Untertage In-situ-Messungen****D1.14 Untertage Labor****D2 Porenwasserchemismus****D2.1 Fernerkundung****D2.2 Geophysik (übertägig)****D2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D2.4 Geol. Kartierung****D2.5 Bohrungen****D2.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D2.7 Feldmessungen - Geochemie****D2.8 Feldmessungen - Geomechanik**

D2.9 Labor

Grundwasser wurde in 98 Bohrungen meist im Yucca Mountain Site Model Area (30 x 45 km²; 59 Bohrungen) sowie in einem Bereich südlich davon bis zur möglichen Austrittszone (ca. 20 x 17 km²; 37 Bohrungen) beprobt.

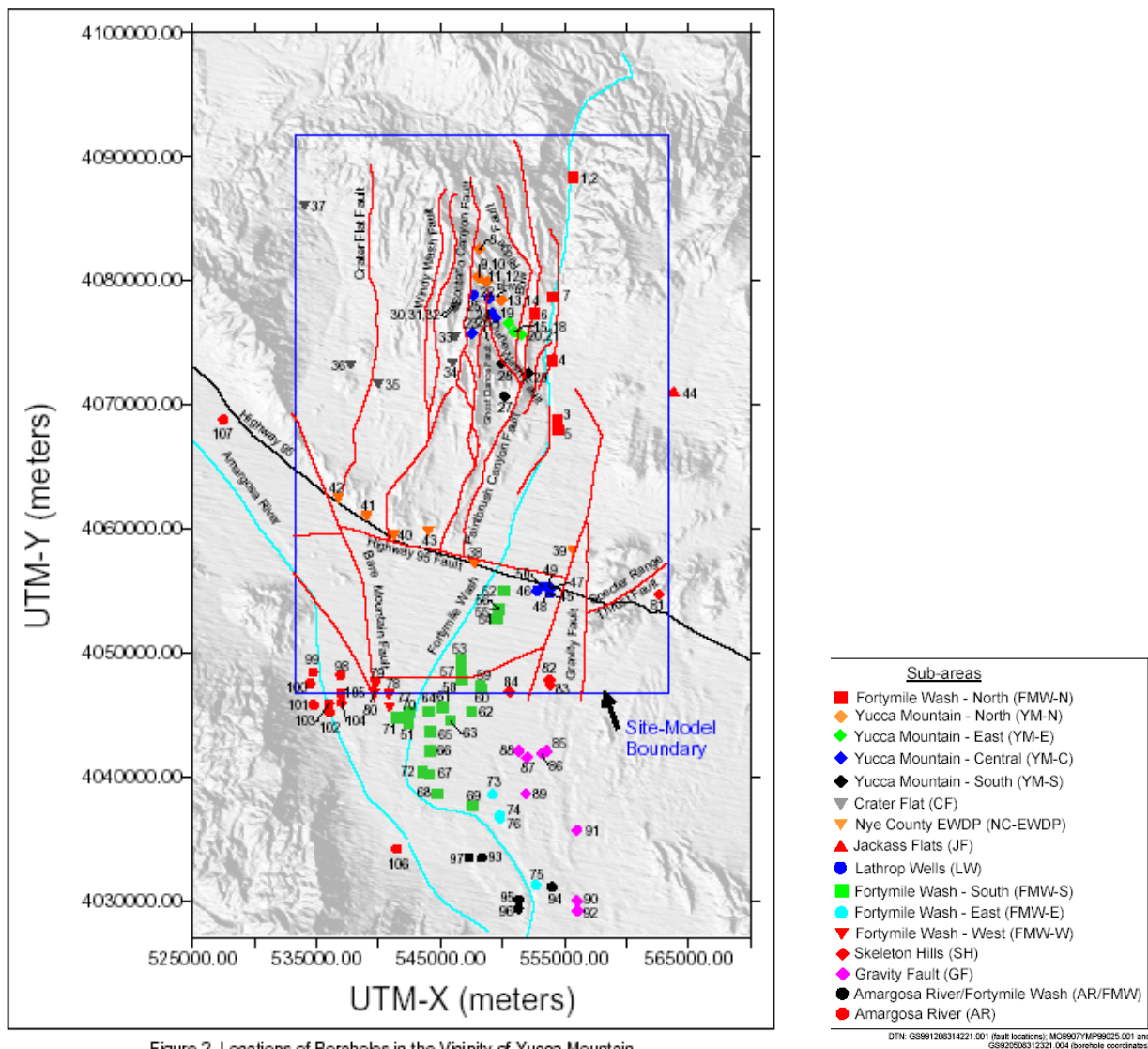


Figure 2. Locations of Boreholes in the Vicinity of Yucca Mountain and the Northern Amargosa Desert (continued on next page)

Neue Bohrungen wurden mit einer Schaumspülung mit LiBr-Tracer abgeteuft. In den meisten Fällen wurde der Inhalt der Spülung in den Proben als < 1% eingeschätzt. Die Beprobung erfolgte meist von offenen Bohrungen durch Pumpen bzw. Ausschöpfen. Schichtwasser wurde in 12 Bohrungen beprobt. Alle Wasserproben wurden für pH sowie gelöste Hauptsustanzen (Na, K, Ca, Mg, Cl, SO₄, HCO₃, SiO₂) analysiert.

OCRWM (2000b)

Qualität: 2 Quantität: 1 (pH)

Qualität: 3 Quantität: 1 (gelöste Hauptsustanzen)

D2.10 Untertage Geophysik

D2.11 Untertage geol. Kartierung

D2.12 Untertage Bohrungen

D2.13 Untertage In-situ-Messungen

D2.14 Untertage Labor

D3 Transporteigenschaften

D3.1 Fernerkundung

D3.2 Geophysik (übertägig)

D3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

D3.4 Geol. Kartierung

D3.5 Bohrungen

D3.6 Feldmessungen - Geohydraulik

Insgesamt wurden 8 Tracertests durchgeführt.

USDOE (1997)

Qualität: 1 Quantität: 2

D3.7 Feldmessungen - Geochemie

D3.8 Feldmessungen - Geomechanik

D3.9 Labor

D3.10 Untertage Geophysik

D3.11 Untertage geol. Kartierung

D3.12 Untertage Bohrungen

D3.13 Untertage In-situ-Messungen

D3.14 Untertage Labor

D4 Kolloide usw.

D4.1 Fernerkundung

D4.2 Geophysik (übertägig)

D4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

D4.4 Geol. Kartierung

D4.5 Bohrungen

D4.6 Feldmessungen - Geohydraulik

D4.7 Feldmessungen - Geochemie**D4.8 Feldmessungen - Geomechanik****D4.9 Labor****D4.10 Untertage Geophysik****D4.11 Untertage geol. Kartierung****D4.12 Untertage Bohrungen****D4.13 Untertage In-situ-Messungen****D4.14 Untertage Labor****ZITATE**

(Die mit * gekennzeichneten Zitate befinden sich auf dem beiliegenden Datenträger.)

- *BRECHTEL, C. E., LIN, M., MARTIN, E. & KESSEL, D. S. (1995): Geotechnical Characterization of the North Ramp of the Exploratory Studies Facility. SAND95-0488/1 and 2. Two volumes. Albuquerque, New Mexico: Sandia National Laboratories. ACC: MOL.19950502.0004; MOL.19950502.0005.
- *BROCHER, T. M., HUNTER, C. W. & LANGENHEIM, V. E. (1998): Implications of seismic reflection and potential field geophysical data on the structural framework of the Yucca Mountain-Crater Flat region, Nevada: GSA Bulletin v. 110 no. 8, p. 947-971 (abstract).
- *BRODSKY, N. S., RIGGINS, M., CONNOLLY, J. & RICCI, P. (1997): Thermal Expansion, Thermal Conductivity, and Heat Capacity Measurements for Boreholes UE25 NRG-4, UE25 NRG-5, USW NRG-6, and USW NRG-7/7A. SAND95-1955. Albuquerque, New Mexico: Sandia National Laboratories. ACC: MOL.19980311.0316.
- *BSC (2003): Subsurface Geotechnical Parameters Report. 800-K0C-WIS0-00400-000-00A. Las Vegas, Nevada: Bechtel SAIC Company. ACC: ENG.20040108.0001.
- *BSC (2004): Yucca Mountain Site Description. TDR-CRW-GS-000001 REV 02 ICN 01. Two volumes. Las Vegas, Nevada: Bechtel SAIC Company. ACC: DOC.20040504.0008; Replacement for 168845.
- *FLINT, L. E., BUESCH, D. C. & FLINT, A. (2006): Characterization of Unsaturated Zone Hydrogeologic Units using Matrix Properties and Depositional History in a Complex Volcanic Environment. Vadose Zone Journal 5:480-292.
- LEE, M. Y. & HAIMSON, B. C. (1999): Initial Stress Measurements in the Exploratory Studies Facility Yucca Mountain, Nevada. Rock Mechanics for Industry, Proceedings of the 37th U.S. Rock Mechanics Symposium, Vail, Colorado, USA, 6-9 June 1999. Amadei, B.; Kranz, R. L.; Scott, G. A. & Smeallie, P. H., eds. 2, 743-750. Brookfield, Vermont: A. A. Balkema. TIC: 245246. [Hinweis: über Bibliothek zu beziehen]
- *NIMICK, F. B. (1989): Thermal-Conductivity Data for Tuffs from the Unsaturated Zone at Yucca Mountain, Nevada. SAND88-0624. Albuquerque, New Mexico: Sandia National Laboratories. ACC: NNA.19890515.0133.
- *OCRWM (2000a): Characterize Framework for Igneous Activity at Yucca Mountain, Nevada: Analysis/Model report (AMR), ANL-MGR-GS-000001 REV 00, ICN 01, 180 p.
- *OCRWM (2000b): Geochemical and Isotopic Constraints on Groundwater Flow Directions, Mixing and Recharge at Yucca Mountain, Nevada. Analysis/Model Report ANL-NBS-HS-000021, Rev00. August 2000, 131 pages.
- *OCRWM (2002a): Final Environmental Impact Statement for a Geologic Repository for the Disposal of Spent Nuclear Fuel and High-Level Radioactive Waste at Yucca Mountain, Nye County, Nevada, DOE/EIS-0250.
- *OCRWM (2002b): Geotechnical Data for a Potential Waste Handling Building and for Ground Motion Analyses for the Yucca Mountain Site Characterization Project, 932 p.

- *OCRWM (2002c): Yucca Mountain Science and Engineering Report - Technical Information Supporting Site Recommendation Consideration.
- *OCRWM (2007): Draft Supplemental Environmental Impact Statement for a Geologic Repository for the Disposal of Spent Nuclear Fuel and High-Level Radioactive Waste at Yucca Mountain, Nye County, Nevada: U.S. Department of Energy, Volume I Impact Analyses 1-13, DOE/EIS-0250F-S1D.
- *O'LEARY, D. W., MANKINEN, E. A., BLAKELY, R. J., LANGENHEIM, V. E. & PONCE, D. A. (2002): Aeromagnetic expression of buried basaltic volcanoes near Yucca Mountain, Nevada: U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, 27 p.
- *OLIVER, H. W., PONCE, D. A. & HUNTER, W. C. (Eds.) (1995): Major Results of Geophysical Investigations at Yucca Mountain and Vicinity, Southern Nevada: U.S. Geological Survey Open-File Report 95-7, ACC: MOL.19980305.0122, 191 p.
- *OLSSON, W. A. & BROWN, S. R. (1997): Mechanical Properties of Fractures from Drillholes UE25-NRG-4, USW-NRG-6, USW-NRG-7, USW-SD-9 at Yucca Mountain, Nevada. SAND95-1736. Albuquerque, New Mexico: Sandia National Laboratories. ACC: MOL.19970224.0064.
- *RIGBY, D. (2004): Lithophysal Rock Mass Mechanical Properties of the Repository Host Horizon. Technical Report, 800-K0C-SS00-00200-000-00A.
- *USDOE (1988): Site Characterization Plan Overview. Yucca Mountain Site, Nevada Research and Development Area, Nevada. DOE/RW-0198.
- *USDOE (1997): Site Characterization Progress Report: Yucca Mountain, Nevada. Number 16. October 1997. DOE/RW-0501.
- *USDOE (2001): Site Characterization Progress Report, Yucca Mountain, Nevada, Number 23, DOE/RW-0545.
- *USDOE (2002): DOCUMENTATION OF PROGRAM CHANGE, 288 P., B00000000-01717-5700-00021 REV04 ICN 02.

YUCCA MOUNTAIN		Erkundungs- methoden: 1-9 übertägig 10-14 untertägig	Fernerkundung	Geophysik (übertägig)	Geophysik (im Bohrloch)	Geol. Kartierung	Bohrungen	Feldmessungen - Geohydraulik	Feldmessungen - Geochemie	Feldmessungen - Geomechanik	Labor	Geophysik	geologische Kartierung	Bohrungen	In-situ- Messungen	Labor
Inhalte der Themenkomplexe	Bezeichnungen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Regionale Geologie (20 km*20 km)																
Wirtsgestein / Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)	A1															
Stratigraphie	A2															
Strukturgeologie und Tektonik (Störungsmuster, Faltung)	A3															
Regionales Spannungsfeld	A4															
Temperatur und Wärmeleitfähigkeit	A5															
Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z.B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)	A6															
Rohstoffvorkommen	A7															
Eigenschaften des Wirtsgesteins und des Deckgebirges am Standort																
Lithologie	B1															
Geometrie (Tiefenlage, Ausdehnung)	B2															
Makro-Struktur (Großgefüge: Störungen / Faltungen / Deformationen / Klüfte)	B3															
Mikro-Struktur (Korngefüge / Porenstruktur)	B4															
In-situ-Spannungsverhältnisse	B5															
Mineralogie	B6															
Petrophysikalische Eigenschaften (Probenmaßstab):																
Gesteinsmechanik (z.B. Festigkeit, Kriechen)	B7a															
Hydraulik (z.B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)	B7b															
Diffusion	B7c															
Thermik	B7d															
THMC-Kopplung	B7e															
Chemismus (z.B. Oxidation, Adsorption)	B7f															
Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)																
Hydraulisch wirksame Einheiten	C1															
Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein	C2															
Fließ- und Speicherparameter	C3															
Zwei-Phasenfluss-Parameter	C4															
Hydrochemie																
Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)	D1															
Porenwasserchemismus	D2															
Transporteigenschaften	D3															
Kolloide usw.	D4															
				Erkundungsaktivität												
				Erkundungsaktivität ohne eine Bewertung bzgl. der Qualitäts- bzw. Quantitätskategorien												

Erkundungsaktivität

Erkundungsaktivität ohne eine Bewertung bzgl. der Qualitäts- bzw. Quantitätskategorien

Anhang 9

Dokumentation der abgeleiteten Erkundung -
Salzgesteine in flacher Lagerung

A Regionale Geologie (20 km×20 km)

Zielstellung der Erkundung - ausgehend vom Kenntnisstand nach Auswertung der regional vorhandenen Datenlage:

- Bestätigung der im AkEnd-Verfahrensschritt 3 angenommenen lateralen Ausdehnung des Wirtsgesteins bzw. des Deckgebirges
- Bestätigung der im AkEnd-Verfahrensschritt 3 angenommenen Lage von geologischen Merkmalen, wie Großstörungen, die die zur Erkundung ausgewählte Standortregion ($\ll 20 \text{ km} \times 20 \text{ km}$) einschränken

Hinweis: Die gezielte Bereitstellung standortspezifischer Daten für die Langzeitsicherheitsanalyse bzw. für die Untersuchung der bautechnischen Machbarkeit der Hohlraumerstellung unter den standortspezifischen Gegebenheiten erfolgt hauptsächlich durch die Erkundungen der Inhalte der Themenkomplexe B, C sowie D.

A1 Wirtsgestein/Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)**A1.1 Fernerkundung****A1.2 Geophysik**

2D-seismische Messungen zur Bestimmung der Salzoberfläche, der Mächtigkeit des Salzes sowie zur Untersuchung von Struktur und Mächtigkeit des Deckgebirges (vor allem Reflexionsseismik).

Qualität: 2 Quantität: 2

Flächenhafte Erkundung der lateralen Ausdehnung des Wirtsgesteins, d.h. insbesondere des Salzhangs, von Mächtigkeits- und Materialwechseln im Deckgebirge mit Gravimetrie; in Abhängigkeit von der Art des Deckgebirges können die gravimetrischen Messungen durch magnetische Messungen ergänzt werden; Punktabstand ca. 500 m; quantitative Interpretation über Modellrechnungen.

Qualität: 3 Quantität: 2

Für alle vorgeschlagenen Verfahren gilt: vor der Durchführung neuer Messungen ist zu prüfen, ob bereits entsprechende Daten im Untersuchungsgebiet vorliegen.

A1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Nach der geophysikalischen Erkundung gezielter Ansatz von Bohrungen und Einsatz des Standardprogramms der Bohrlochmessung (Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur).

Qualität: 2 Quantität: 2

A1.4 Geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung des Deckgebirges.

Qualität: 3 Quantität: 2

A1.5 Bohrungen

Kernbohrungen im Deckgebirge sowie im Salzgestein einschließlich Erkundung des Subsalinars zur Bewertung der Liegendenschutzschicht.

Qualität: 3 Quantität: 1

A1.6 Feldmessungen - Geohydraulik**A1.7 Feldmessungen - Geochemie****A1.8 Feldmessungen - Geomechanik**

A1.9 Labor

Untersuchungen an Oberflächenproben des überlagernden Deckgebirges sowie Proben aus gewonnenem Kernmaterial (z.B. auf Mineralbestand, Geochemie, Isotopenanalyse → Gesteinsklassifizierung, Datierungen).

Qualität: 3 Quantität: 1

A1.10 Untertage Geophysik**A1.11 Untertage geol. Kartierung****A1.12 Untertage Bohrungen****A1.13 Untertage In-situ-Messungen****A1.14 Untertage Labor****A2 Stratigraphie****A2.1 Fernerkundung****A2.2 Geophysik (übertägig)****A2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A2.4 Geol. Kartierung**

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung des Deckgebirges (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.4)

Qualität: 3 Quantität: 2

A2.5 Bohrungen

Kernbohrungen im Deckgebirge sowie im Salzgestein (gleiche Datensätze wie A1.5)

Qualität: 3 Quantität: 1

A2.6 Feldmessungen - Geohydraulik**A2.7 Feldmessungen - Geochemie****A2.8 Feldmessungen - Geomechanik****A2.9 Labor**

Untersuchungen an Oberflächenproben sowie Kernmaterial aus dem Deckgebirge bzw. dem Salinar (Mineralbestand, Geochemie, Isotopenanalyse → Gesteinsklassifizierung, Datierungen), (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.9)

Qualität: 3 Quantität: 2

A2.10 Untertage Geophysik**A2.11 Untertage geol. Kartierung****A2.12 Untertage Bohrungen****A2.13 Untertage In-situ-Messungen****A2.14 Untertage Labor****A3 Strukturgeologie und Tektonik****A3.1 Fernerkundung**

A3.2 Geophysik (übertägig)

2D-seismische Messungen zur Erfassung von Störungen und Klüftzonen (vor allem Reflexionsseismik), (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.2).

Qualität: 2 Quantität: 2

Flächenhafte Erkundung von Störungen und Klüftzonen mit Gravimetrie; in Abhängigkeit von der Art des Deckgebirges können die gravimetrischen Messungen durch magnetische Messungen ergänzt werden; Punktabstand ca. 500 m; quantitative Interpretation über Modellrechnungen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.2).

Qualität: 3 Quantität: 2

A3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Nach geophysikalischer Oberflächenerkundung gezielter Ansatz von Bohrungen und Einsatz des Standardprogramms der Bohrlochmessung (Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur), (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.3).

Qualität: 2 Quantität: 2

A3.4 Geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung des Deckgebirges (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.4).

Qualität: 3 Quantität: 2

A3.5 Bohrungen**A3.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A3.7 Feldmessungen - Geochemie****A3.8 Feldmessungen - Geomechanik****A3.9 Labor**

Untersuchungen an Oberflächenproben (Texturanalyse z.B. U-Tisch, Neutronentextur).

Qualität: 3 Quantität: 2

A3.10 Untertage Geophysik**A3.11 Untertage geol. Kartierung****A3.12 Untertage Bohrungen****A3.13 Untertage In-situ-Messungen****A3.14 Untertage Labor****A4 Regionales Spannungsfeld****A4.1 Fernerkundung****A4.2 Geophysik (übertägig)****A4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A4.4 Geol. Kartierung****A4.5 Bohrungen****A4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A4.7 Feldmessungen - Geochemie**

A4.8 Feldmessungen - Geomechanik

A4.9 Labor

A4.10 Untertage Geophysik

A4.11 Untertage geol. Kartierung

A4.12 Untertage Bohrungen

A4.13 Untertage In-situ-Messungen

A4.14 Untertage Labor

A5 Temperatur und Wärmeleitfähigkeit

A5.1 Fernerkundung

A5.2 Geophysik (übertägig)

A5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Temperaturmessungen in tiefen Bohrungen zur Bewertung des Temperaturgradienten.

Qualität: 3 Quantität: 2

A5.4 Geol. Kartierung

A5.5 Bohrungen

A5.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A5.7 Feldmessungen - Geochemie

A5.8 Feldmessungen - Geomechanik

A5.9 Labor

A5.10 Untertage Geophysik

A5.11 Untertage geol. Kartierung

A5.12 Untertage Bohrungen

A5.13 Untertage In-situ-Messungen

A5.14 Untertage Labor

A6 Geodynamik/Entwicklungsgeschichte (z.B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)

A6.1 Fernerkundung

A6.2 Geophysik (übertägig)

A6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A6.4 Geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung des Deckgebirges (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.4).

Qualität: 3 Quantität: 2

A6.5 Bohrungen

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen – Bewertung lokaler Anomalien, z.B. infolge von Rutschungen am Beckenrand (*vertiefte Auswertung der Datensätze aus A1.5*).

Qualität: 3 Quantität: 1

A6.6 Feldmessungen - Geohydraulik**A6.7 Feldmessungen - Geochemie****A6.8 Feldmessungen - Geomechanik****A6.9 Labor****A6.10 Untertage Geophysik****A6.11 Untertage geol. Kartierung****A6.12 Untertage Bohrungen****A6.13 Untertage In-situ-Messungen****A6.14 Untertage Labor****A7 Rohstoffvorkommen**

Aufgrund des in Deutschland vorliegenden Kenntnisstandes bezüglich des möglichen Vorkommens gewinnungshöffiger Rohstoffe sind diesbezügliche keine zusätzlichen Erkundungsmaßnahmen erforderlich.

A7.1 Fernerkundung**A7.2 Geophysik (übertägig)****A7.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A7.4 Geol. Kartierung****A7.5 Bohrungen****A7.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A7.7 Feldmessungen - Geochemie****A7.8 Feldmessungen - Geomechanik****A7.9 Labor****A7.10 Untertage Geophysik****A7.11 Untertage geol. Kartierung****A7.12 Untertage Bohrungen****A7.13 Untertage In-situ-Messungen****A7.14 Untertage Labor*****B Eigenschaften des Wirtsgesteins und der Rahmengesteine am Standort*****B1 Lithologie/Stratigraphie****B1.1 Fernerkundung****B1.2 Geophysik****B1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

Standardbohrlochmessprogramm: Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur.

VSP-Messungen zur Verbesserung der Auswertung seismischer Messungen an der Oberfläche.

Qualität: 2 Quantität: 2

B1.4 Geol. Kartierung**B1.5 Bohrungen**

Kernbohrungen im Deckgebirge sowie im Salinar bzw. Subsalinar.

Qualität: 3 Quantität: 1

B1.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B1.7 Feldmessungen - Geochemie****B1.8 Feldmessungen - Geomechanik****B1.9 Labor**

Untersuchungen an Oberflächenproben sowie gewonnenem Kernmaterial aus dem Deckgebirge und dem Salinar sowie Subsalinar (Mineralbestand, Geochemie, Isotopenanalyse → Gesteinsklassifizierung, Datierungen) - *standortspezifische Verdichtung der Datensätze aus A1.9.*

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.10 Untertage Geophysik**B1.11 Untertage geol. Kartierung**

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung.

Qualität: 3 Quantität: 1

B1.12 Untertage Bohrungen

Kernbohrungen

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.13 Untertage In-situ-Messungen

In-situ-Messprogramm zur Bestimmung des untertägigen Deformationsverhaltens (Ausbruchsverhalten) für verschiedene stratigraphische Einheiten ⇒ z.B. Ausweisung von Homogenbereichen = lithologische Gesteinseinheiten mit vergleichbarem Deformationsverhalten (z.B. berührungslose Vermessung von Konvergenzmarken an der Gebirgskontur entlang einer Strecke, Extensometermessungen für verschiedene stratigraphische Einheiten in Bohrlöchern mit unterschiedlichen Teufenabständen zur Kontur)

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.14 Untertage Labor

Untersuchungen an Gesteinsproben (Mineralbestand, Geochemie, Isotopenanalyse → Gesteinsklassifizierung, Datierungen) - lokale Verdichtung und teufenabhängige Ergänzung der unter A1 bis A3 gewonnenen Datensätze.

Qualität: 3 Quantität: 2

B2 Geometrie**B2.1 Fernerkundung****B2.2 Geophysik (übertägig)**

Verdichtung der unter A1.2 durchgeführten 2D-seismischen Messungen für eine detailliertere Bestimmung der Salzoberfläche, der Mächtigkeit des Salzes sowie zur Untersuchung von Struktur und Mächtigkeit des Deckgebirges (vor allem Reflexionsseismik).

Qualität: 2 Quantität: 2

B2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Standardbohrlochmessprogramm: Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.3).

VSP-Messungen zur Verbesserung der Auswertung seismischer Messungen an der Oberfläche (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.3).

Qualität: 2 Quantität: 2

B2.4 Geol. Kartierung**B2.5 Bohrungen**

Kernbohrungen im Deckgebirge sowie im Salzgestein und Subsalinar (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.5).

Qualität: 3 Quantität: 2

B2.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B2.7 Feldmessungen - Geochemie****B2.8 Feldmessungen - Geomechanik****B2.9 Labor****B2.10 Untertage Geophysik****B2.11 Untertage geol. Kartierung**

Visuelle Aufnahme (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.11).

Qualität: 1 Quantität: 2

B2.12 Untertage Bohrungen

Kernbohrungen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.12).

Qualität: 3 Quantität: 2

B2.13 Untertage In-situ-Messungen**B2.14 Untertage Labor****B3 Makro-Struktur****B3.1 Fernerkundung****B3.2 Geophysik (übertägig)**

Verdichtung der unter A1.2 durchgeführten 2D-seismischen Messungen zur Erkundung von Störungen und Klüftzonen (vor allem Reflexionsseismik), (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B2.2).

Qualität: 2 Quantität: 2

Flächenhafte gravimetrische Erkundung von Störungen und Klüftzonen mit einem Punktabstand von maximal 200 m; quantitative Interpretation über Modellrechnungen.

Qualität: 3 Quantität: 3

Geoelektrische und/oder elektromagnetische Messungen zur Erfassung von Störungszonen im Deckgebirge und der Migrationswege stark mineralisierter Wässer im Untergrund; Methodenauswahl ist abhängig von Mächtigkeit und Leitfähigkeit des Deckgebirges; quantitative Interpretation der Ergebnisse.

Qualität: 3 Quantität: 3

B3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Standardbohrlochmessprogramm: Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.3).

VSP-Messungen zur Verbesserung der Auswertung seismischer Messungen an der Oberfläche (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.3).

Akustisches Bohrlochfernsehen und andere bildgebende Verfahren (z.B. optisches Fernsehen, Formation Microlmager).

Einsatz von Bohrlochradar für die Störungsverfolgung im weiteren Umfeld der Bohrung.

Ggf. crosshole-Tomographie (Georadar) zur Erkundung von Störungsverläufen.

Qualität: 3 Quantität: 2 - 3

B3.4 Geol. Kartierung**B3.5 Bohrungen**

Kernbohrungen im Deckgebirge sowie im Salzgestein und Subsalinar (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.5).

Qualität: 3 Quantität: 2

B3.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B3.7 Feldmessungen - Geochemie****B3.8 Feldmessungen - Geomechanik****B3.9 Labor****B3.10 Untertage Geophysik**

Primär Radar-, ggf. seismische Messungen von Strecken oder Bohrlöchern aus; ggf. crosshole-Messungen.

Qualität: 3 Quantität: 2 - 3

B3.11 Untertage geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.11).

Qualität: 3 Quantität: 1

B3.12 Untertage Bohrungen

Kernbohrungen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.12).

Qualität: 3 Quantität: 2

B3.13 Untertage In-situ-Messungen

In-situ-Messprogramm zur Bestimmung des untertägigen Deformationsverhaltens vom anstehenden Gebirge und im Bereich von aufgeschlossenen Störungszonen. Neben der Bestimmung von Matrixeigenschaften (vgl. B1.13) sind Teilbewegungen verschiedener Gesteinseinheiten an Störungszonen (z.B. Verschiebungs-(Fissurometer-)messungen an Klüften oder Rissen) zu erfassen. Bezüglich der Auswertung ist zu berücksichtigen, dass neben tektonischen Effekten auch Umwelteinflüsse (z.B. Temperatur-, Feuchtigkeitsänderungen) die Messungen beeinträchtigen können. Die Messdaten liefern die Basis für Rück- bzw. Prognoserechnungen mit einem daran zu kalibrierenden numerischen Rechenmodell.

Qualität: 3 Quantität: 2

B3.14 Untertage Labor**B4 Mikro-Struktur****B4.1 Fernerkundung****B4.2 Geophysik (übertägig)****B4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B4.4 Geol. Kartierung****B4.5 Bohrungen****B4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B4.7 Feldmessungen - Geochemie****B4.8 Feldmessungen - Geomechanik****B4.9 Labor**

Charakterisierung des Wirtsgesteins mittels Struktur- und Gefügeuntersuchungen in verschiedenen Maßstäben; mikroskopische Beschreibung des Porenraumes und dessen Geometrie sowie von Deformationsstrukturen auch hinsichtlich Transportmechanismen und Fließpfaden.

Qualität: 3 Quantität: 1

B4.10 Untertage Geophysik**B4.11 Untertage geol. Kartierung****B4.12 Untertage Bohrungen****B4.13 Untertage In-situ-Messungen****B4.14 Untertage Labor**

Charakterisierung des Wirtsgesteins mittels Struktur- und Gefügeuntersuchungen in verschiedenen Maßstäben (Matrix und Schichtgrenzen bzw. Materialwechsel); mikroskopische Beschreibung des Porenraumes und dessen Geometrie sowie von Deformationsstrukturen auch hinsichtlich Transportmechanismen und Fließpfaden (wie B4.9).

Qualität: 3 Quantität: 2

B5 In-situ-Spannungsverhältnisse**B5.1 Fernerkundung****B5.2 Geophysik (übertägig)****B5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B5.4 Geol. Kartierung****B5.5 Bohrungen****B5.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B5.7 Feldmessungen - Geochemie****B5.8 Feldmessungen - Geomechanik**

Bestimmung des Spannungszustandes mittels hydraulic fracturing und Packerabdrucktests; Tests sowohl im Deckgebirge als auch im Wirtsgestein. Im Gegensatz zum Salinar sind Spannungsbestimmungen im salinaren Deckgebirge und in Lockergesteinsbereichen problematisch: Im Salzgestein ist aufgrund isostatischer Spannungszustände die Auswertung des lithologischen Teufenprofils für die Ableitung des lokalen Spannungskoeffizienten zumeist ausreichend.

Qualität: 2 Quantität: 1

B5.9 Labor**B5.10 Untertage Geophysik**

Nach bzw. während des Auffahrens der Strecken Errichtung eines mikroseismischen Netzwerkes unter Tage zur Erfassung spannungsbedingter Ereignisse → Lokalisierung von Spannungskonzentrationen mit bruchhaften Ereignissen.

Qualität: 3 Quantität: 3

B5.11 Untertage geol. Kartierung**B5.12 Untertage Bohrungen****B5.13 Untertage In-situ-Messungen**

Sondierungen in flachen Bohrungen - Teufe bis 20 m (z.B. hydraulic fracturing; Schlitzsonde); Verformungs- bzw. Kraftmessungen an Ausbaukomponenten z.B. über Druckkissen oder Extensometer; mehrere Einzelmessungen entlang eines Profils mit definiertem Abstand liefern Messdaten für ein Raummodell; Präzisierung der Spannungsverteilung (z.B. im Bereich von geologischen Anomalien).

Qualität: 3 Quantität: 1

B5.14 Untertage Labor**B6 Mineralogie****B6.1 Fernerkundung****B6.2 Geophysik (übertägig)****B6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B6.4 Geol. Kartierung****B6.5 Bohrungen****B6.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B6.7 Feldmessungen - Geochemie****B6.8 Feldmessungen - Geomechanik****B6.9 Labor**

Charakterisierung des Wirtsgesteins zur mineralogischen Zusammensetzung, z.B. Quarz-, Tonmineral-, Karbonatgehalt und Akzessorien sowie Verteilung der Komponenten; zusätzlich Bestimmung der Mineralogie von Kluffüllungen und Störungsmineralisationen (hinsichtlich Stofftransport, Lösung, Fällung); an Kernmaterial aber auch an Bohrkern möglich; geeignete qualitative und quantitative Methoden sind mineraloptische Untersuchungen (Dickschliff-, Dünnschliff-, Auflichtmikroskopie) und Röntgendiffraktometrie. Darüber hinaus liefert die Analyse von Spurenelementen (z.B. Br, Sr.) analog zur Analyse von zutretenden Salzlösungen (vgl. D2.9) wertvolle Hinweise zur stratigraphischen Einordnung.

Qualität: 3 Quantität: 2

B6.10 Untertage Geophysik**B6.11 Untertage geol. Kartierung****B6.12 Untertage Bohrungen****B6.13 Untertage In-situ-Messungen**

Radiometrische ⁴⁰K-Messungen zur Bestimmung von Kalisalzgehalten.

Qualität: 2 Quantität: 2

B6.14 Untertage Labor

Vervollständigung der Datensätze aus B6.9.

Qualität: 3 Quantität: 2

B7 Petrophysikalische Eigenschaften**B7a Gesteinsmechanik****B7a.1 Fernerkundung****B7a.2 Geophysik (übertägig)****B7a.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7a.4 Geol. Kartierung****B7a.5 Bohrungen****B7a.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7a.7 Feldmessungen - Geochemie****B7a.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7a.9 Labor**

Durchführung von geotechnischen Laborversuchen in Form von Triaxial-, Uniaxial-, Spaltzug- und Scherversuchen an geeignetem Kernmaterial zur Bestimmung von gesteinsmechanischen Parametern von Matrix- und Trennflächeneigenschaften (z.B. Festigkeit, MOHR-COULOMB-Parameter); das Kernmaterial sollte sowohl aus dem Einlagerungshorizont im Wirtsgestein als auch aus den Deckgebirgsschichten stammen.

Bestimmung gesteinsphysikalischer Parameter wie Dichte und Ultraschallgeschwindigkeiten sowie daraus abgeleiteter dynamisch elastischer Eigenschaften zur Charakterisierung der Wirtsgesteinseigenschaften an Kernmaterial aus definierten Teufenbereichen bzw. an Kernmaterial mit Materialwechsel / Schichtgrenzen.

Erarbeitung eines geomechanischen 3D-Modells.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1

B7a.10 Untertage Geophysik**B7a.11 Untertage geol. Kartierung****B7a.12 Untertage Bohrungen****B7a.13 Untertage In-situ-Messungen**

In-situ-Messprogramm zur Bestimmung des untertägigen Deformationsverhaltens (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B3.13).

Qualität: 3 Quantität: 2

B7a.14 Untertage Labor

Vervollständigung der Datensätze aus B7a.9: Präzisierung des geomechanischen 3D-Modells.

Qualität: 3 Quantität: 2

B7b Hydraulisch (z. B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)**B7b.1 Fernerkundung****B7b.2 Geophysik (übertägig)****B7b.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

B7b.4 Geol. Kartierung**B7b.5 Bohrungen****B7b.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7b.7 Feldmessungen - Geochemie****B7b.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7b.9 Labor**

Bestimmung der Porosität des Wirtsgesteins mittels laboranalytischer Methoden (Pyknometer-Porosität, Wasserverlust-Porosität, Diffusions-Porosität, geochemische Porosität); ebenso Bestimmung von Sättigung sowie Permeabilität des Wirtsgesteins; Maßstab: cm- bis dm-Bereich.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B7b.10 Untertage Geophysik

Charakterisierung von lokalen Auflockerungszonen bis in den m-Maßstab mittels ortsauflösender geophysikalischer Verfahren (z.B. Georadar, Seismik, Geoelektrik).

Qualität: 2 Quantität: 2

B7b.11 Untertage geol. Kartierung**B7b.12 Untertage Bohrungen****B7b.13 Untertage In-situ-Messungen**

Kleinmaßstäbliche Permeabilitätsmessungen mittels Bohrlochsonden bzw. Oberflächenpackern.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B7b.14 Untertage Labor

Vervollständigung der Datensätze aus B7b.9

Qualität: 3 Quantität: 3

B7c Diffusion

Hinweis: Zu den Diffusionseigenschaften von Steinsalz liegen generische Ergebnisse im Labor- und Bohrkernmaßstab vor, wobei derartige Prozesse im Steinsalz vernachlässigbar sind und somit allenfalls exemplarisch wiederholt werden müssten.

B7c.1 Fernerkundung**B7c.2 Geophysik (übertägig)****B7c.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7c.4 Geol. Kartierung****B7c.5 Bohrungen****B7c.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7c.7 Feldmessungen - Geochemie****B7c.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7c.9 Labor****B7c.10 Untertage Geophysik****B7c.11 Untertage geol. Kartierung**

B7c.12 Untertage Bohrungen

B7c.13 Untertage In-situ-Messungen

B7c.14 Untertage Labor

B7d Thermisch

B7d.1 Fernerkundung

B7d.2 Geophysik (übertägig)

B7d.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7d.4 Geol. Kartierung

B7d.5 Bohrungen

B7d.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7d.7 Feldmessungen - Geochemie

B7d.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7d.9 Labor

Bestimmung von Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität und Wärmeausdehnung an Kernproben im Labor.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B7d.10 Untertage Geophysik

B7d.11 Untertage geol. Kartierung

B7d.12 Untertage Bohrungen

B7d.13 Untertage In-situ-Messungen

Aufheizversuche in Bohrlöchern bzw. großskalige Erhitzeranordnungen zur Simulation der Einlagerung von wärmeproduzierenden Abfallgebinden.

Qualität: 3 Quantität: 1

B7d.14 Untertage Labor

Vervollständigung der Datensätze aus B7d.9 (Vorteil: bessere Probenahmemöglichkeit).

Qualität: 3 Quantität: 3

B7e THMC-Kopplung

B7e.1 Fernerkundung

B7e.2 Geophysik (übertägig)

B7e.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7e.4 Geol. Kartierung

B7e.5 Bohrungen

B7e.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7e.7 Feldmessungen - Geochemie

B7e.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7e.9 Labor

Laboruntersuchungen zur Bestimmung von THMC-Eigenschaften unter definierten Randbedingungen (Nachteil: aufgelockertes Kernmaterial sowie skalenabhängige Repräsentativität).

Anmerkung: Aufgrund der wechselseitigen Überlagerung der verschiedenen Einflussparameter (z.B. Spannungsfeld, Porendruck, Feuchtigkeit, Sättigung, Temperatur und geochemisches Milieu) auf den zu charakterisierenden Prozess bzw. die daraus resultierende Eigenschaft, z.B. mechanische Festigkeit oder hydraulische Durchlässigkeit, gibt es keine experimentellen Standarduntersuchungsverfahren. Hinzu kommt, dass bestimmte Prozesse, z.B. poroelastische Effekte, wenn sie elastisch bedingt sind, bei Änderung der Randbedingungen spontane Effekte bewirken können (z.B. Zunahme des Porendrucks bei isostatischer Belastung einer wassergesättigten Probe) oder z.B. bei chemischen Reaktionen extrem zeitabhängig sind. In der Konsequenz handelt es sich bei diesen Untersuchungen in erster Linie um generische Untersuchungen zum grundsätzlichen Verständnis der Effekte, wobei eine standortspezifische Umsetzung der Ergebnisse, z.B. für die Bewertung untertägiger Messungen, nur über komplexe numerische Modellrechnungen erfolgen kann (vgl. B7e.11).

Aufgrund der daraus resultierenden Komplexität werden aktuell zumeist an Kernproben ($\varnothing = 10$ bis 40 cm) der zu charakterisierenden Gesteinsinformation unter einer definierten Einspannung einzelne Randbedingungen, wie z.B. der Porendruck oder geochemische Zustandsbedingungen, zur Initiierung von Fällungs- oder Lösungsreaktionen kontrolliert geändert und die integral gemessenen Eigenschaften (Festigkeit, Permeabilität) für verschiedene Bedingungen bestimmt. Auf Basis dieser experimentellen Untersuchungen werden empirische Zusammenhänge abgeleitet, die eine Basis für numerische Modellrechnungen liefern. Im Rahmen verschiedener EU-Projekte werden aktuell die vorhandenen numerischen Werkzeuge (z.B. TOUGH2) und Rechenansätze für verschiedene Gesteine (Theresa - Salzgestein; Timodaz - Tonstein) verglichen und bezüglich ihrer Eignung bewertet.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B7e.10 Untertage Geophysik**B7e.11 Untertage geol. Kartierung****B7e.12 Untertage Bohrungen****B7e.13 Untertage In-situ-Messungen**

Großskalige In-situ-Versuche zur Bestimmung von THMC-Eigenschaften unter repräsentativen Randbedingungen (Einbeziehung der Datensätze aus B7d.13): In Ergänzung der vorliegenden Labordatensätze sind insbesondere zur Bewertung möglicher Skaleneffekte langjährige Großversuche durchzuführen. Hierzu gehören z.B. Erhitzerversuche oder Testen von Abschlussbauwerken, bei denen unter realitätsnahen Bedingungen mit Änderung der Randparameter (z.B. Temperaturerhöhung oder hydraulische Belastung) eine Vielzahl von Messparametern (z.B. mechanische Dehnung, Temperatur, Feuchtigkeit, Durchlässigkeit, geochemische Kenngrößen), dreidimensional im Messfeld verteilt über einen längeren Zeitraum gemessen werden. Diese umfangreiche Datenbasis ist unerlässlich für eine Kalibrierung der numerischen Modellrechnungen, die eine Prognose des Einflusses von THMC-Prozessen auf die langzeitliche mechanische und hydraulische Integrität der geologischen Barriere während der Betriebsphase und nach Verschluss des Endlagers ermöglichen sollen.

Anmerkung: Aufgrund der Komplexität von THMC-Prozessen zielen die Untersuchungen nicht auf ein vollständiges, quantitatives Verständnis dieser Prozesse ab, sondern mit den Untersuchungen muss zumindest die Größenordnung der zu erwartenden Effekte infolge Auffahrung und Betrieb eines Endlagers aufgrund der daraus resultierenden veränderten Randbedingungen für den Nachweis der Langzeitsicherheit abschätz- und bewertbar sein.

Qualität: 3 Quantität: 1 - 2

B7e.14 Untertage Labor

Vervollständigung der Datenbasis aus B7e.9 (im Gegensatz zur Bohrkerngewinnung aus tiefen Bohrungen können hier unter sehr viel günstigeren Bedingungen über Großbohrlöcher bzw. eine Großblockentnahme schonender und damit weniger sekundär durch Auflockerung beeinflusste Proben gewonnen werden).

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B7f Chemische Eigenschaften (z. B. Oxidation, Adsorption)

Hinweis: Oxidations- bzw. Absorptionseffekte im Steinsalz sind vernachlässigbar.

B7f.1 Fernerkundung**B7f.2 Geophysik (übertägig)****B7f.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7f.4 Geol. Kartierung****B7f.5 Bohrungen****B7f.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7f.7 Feldmessungen - Geochemie****B7f.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7f.9 Labor**

Lithologie-spezifische Bestimmung von chemischen Parametern der Gesteinsmatrix der tonigen Teile des Wirtsgesteins bzw. Deckgebirges.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1 - 2

B7f.10 Untertage Geophysik**B7f.11 Untertage geol. Kartierung****B7f.12 Untertage Bohrungen****B7f.13 Untertage In-situ-Messungen****B7f.14 Untertage Labor**

Lithologie-spezifische Bestimmung von chemischen Parametern der Gesteinsmatrix der tonigen Teile des Wirtsgesteins.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1 - 2

C Hydrogeologie des Wirtsgesteins und der Rahmengesteine (Feldmaßstab)

Hinweis: Aufgrund der nachgewiesenen hohen Dichtheit von unverritztem Steinsalz sind hydraulische Messungen auf die Auflockerungszone (ALZ) um Hohlräume (→ Bestimmung der Reichweite der ALZ) bzw. auf den Bereich von lithologischen Inhomogenitäten (z.B. Schichtgrenzen, Anhydriteinschaltungen, tektonische Beanspruchungszonen) zum Nachweis einer lokal variierenden Permeabilität fokussiert.

C1 Hydraulisch wirksame Einheiten**C1.1 Fernerkundung****C1.2 Geophysik (übertägig)**

Elektromagnetische Messungen (TDEM, CSAMT) zur Erfassung laugengesättigter Schichten; quantitative Interpretation der Ergebnisse (evtl. Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B3.2).

Qualität: 3 Quantität: 3

C1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Standardbohrlochmessprogramm: Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.3).

Qualität: 2 Quantität: 2

C1.4 Geol. Kartierung**C1.5 Bohrungen**

Kernbohrungen im Deckgebirge sowie im Salzgestein (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.5).

Qualität: 3 Quantität: 2

C1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil.

Qualität: 3 Quantität: 1

C1.7 Feldmessungen - Geochemie**C1.8 Feldmessungen - Geomechanik****C1.9 Labor****C1.10 Untertage Geophysik**

Einsatz von Bohrlochradar für die Verfolgung von Störungen und Wasserwegsamkeiten im weiteren Umfeld der aufgefahrene Hohlräume.

Ggf. crosshole-Tomographie (Georadar) zur Erkundung von Störungsverläufen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B3.3).

Qualität: 3 Quantität: 2 - 3

C1.11 Untertage geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.11).

Qualität: 3 Quantität: 2

C1.12 Untertage Bohrungen

Kernbohrungen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.12).

Qualität: 3 Quantität: 2

C1.13 Untertage In-situ-Messungen

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil; Anmerkung: für die Auswertung hydraulischer Messungen im dichten Salzgestein müssen spezifische Messprozeduren und Auswertungsalgorithmen eingesetzt werden.

Qualität: 3 Quantität: 1

C1.14 Untertage Labor**C2 Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein****C2.1 Fernerkundung****C2.2 Geophysik (übertägig)****C2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C2.4 Geol. Kartierung****C2.5 Bohrungen**

C2.6 Feldmessungen - Geohydraulik

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.6).

Qualität: 1 Quantität: 1

Multi-Packer-Beobachtungen

Qualität: 3 Quantität: 1

C2.7 Feldmessungen - Geochemie

C2.8 Feldmessungen - Geomechanik

C2.9 Labor

C2.10 Untertage Geophysik

C2.11 Untertage geol. Kartierung

C2.12 Untertage Bohrungen

C2.13 Untertage In-situ-Messungen

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.13).

Qualität: 1 Quantität: 1

Multi-Packer-Beobachtungen

Qualität: 3 Quantität: 1

C2.14 Untertage Labor

C3 Fließ- und Speicherparameter

C3.1 Fernerkundung

C3.2 Geophysik (übertägig)

C3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

C3.4 Geol. Kartierung

C3.5 Bohrungen

C3.6 Feldmessungen - Geohydraulik

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.6) - nur im Deckgebirge, für das Salinar nicht relevant.

Qualität: 3 Quantität: 1

C3.7 Feldmessungen - Geochemie

C3.8 Feldmessungen - Geomechanik

C3.9 Labor

C3.10 Untertage Geophysik

C3.11 Untertage geol. Kartierung

C3.12 Untertage Bohrungen

C3.13 Untertage In-situ-Messungen

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.13).

Qualität: 3 Quantität: 1

C3.14 Untertage Labor**C4 Zwei-Phasenfluss-Parameter****C4.1 Fernerkundung****C4.2 Geophysik (übertägig)****C4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C4.4 Geol. Kartierung****C4.5 Bohrungen****C4.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.6).

Qualität: 3 Quantität: 1

C4.7 Feldmessungen - Geochemie**C4.8 Feldmessungen - Geomechanik****C4.9 Labor****C4.10 Untertage Geophysik****C4.11 Untertage geol. Kartierung****C4.12 Untertage Bohrungen****C4.13 Untertage In-situ-Messungen**

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.13).

Qualität: 3 Quantität: 1

C4.14 Untertage Labor**D Hydrochemie**

Hinweis: Bei hydrochemischen Untersuchungen ist grundsätzlich zwischen der Analyse von Deckgebirgslösungen und hochsalinaren Lösungen im Salzgestein zu unterscheiden. Da ansonsten die Feuchtigkeitsgehalte im Steinsalz extrem gering sind, liegt der Schwerpunkt bei den in der Wertschöpfungskette zutretenden Lösungen in der Abklärung, ob es sich um von außen zutretende oder um Formationslösungen handelt, die im Gleichgewicht mit dem Salzgebirge stehen.

D1 Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)**D1.1 Fernerkundung****D1.2 Geophysik (übertägig)****D1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D1.4 Geol. Kartierung**

D1.5 Bohrungen**D1.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D1.7 Feldmessungen - Geochemie****D1.8 Feldmessungen - Geomechanik****D1.9 Labor**

Analyse stabiler Isotopen ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ und $^2\text{H}/^1\text{H}$) in anstehenden oder zutretenden Lösungen im Salinar sowie Wasserproben im Deckgebirge (bei Tonbedeckung Beprobung von Porenwasser durch diffusiven Austausch bzw. Zusammendrücken). Analyse von Tritium (^3H) in allen Proben, um Kontaminationen sowie das Eindringen jüngerer Wässer ins Deckgebirge zu erkennen.

Qualität: 3 Quantität: 2

Analyse von ^{14}C sowie stabiler Kohlenstoffisotopen ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) in ausgewählten Wasserproben mit geringer Kontamination (< 2%).

Qualität: 3 Quantität: 2

Analyse von Helium (^4He) in Wasserproben des Deckgebirges; Proben wurden genommen, um gelöste Gase und das Akkumulationsalter (erforderliche Zeit, nach welcher die gemessene Konzentration erreicht wird) zu bestimmen. (Erforderlich sind auch Informationen zum U- sowie Th-Gehalt des Gesteins, um die natürliche Entstehung von ^4He zu berechnen.)

Qualität: 3 Quantität: 2

D1.10 Untertage Geophysik**D1.11 Untertage geol. Kartierung****D1.12 Untertage Bohrungen****D1.13 Untertage In-situ-Messungen****D1.14 Untertage Labor**

Analyse von Tritium (^3H) in anstehenden oder zutretenden Lösungen im Salinar, um Kontaminationen sowie das Eindringen jüngerer Wässer zu erkennen.

Qualität: 3 Quantität: 3

Analyse von ^{14}C sowie stabiler Kohlenstoffisotopen ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) in anstehenden oder zutretenden Lösungen im Salinar, um das Eindringen jüngerer Wässer festzustellen.

Qualität: 3 Quantität: 2

Analyse stabiler Isotopen ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ und $^2\text{H}/^1\text{H}$) in anstehenden oder zutretenden Lösungen im Salinar.

Qualität: 3 Quantität: 1 - 2

D2 Porenwasserchemismus**D2.1 Fernerkundung****D2.2 Geophysik (übertägig)**

Geoelektrische und/oder elektromagnetische Messungen können zur Erfassung des Mineralisationsgrades im Deckgebirge herangezogen werden; Methodenauswahl ist abhängig von Mächtigkeit und Leitfähigkeit des Deckgebirges; quantitative Interpretation der Ergebnisse (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.2).

Qualität: 3 Quantität: 3

D2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Standardbohrlochmessprogramm, vor allem Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.3).

Qualität: 2 Quantität: 2

D2.4 Geol. Kartierung**D2.5 Bohrungen****D2.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D2.7 Feldmessungen - Geochemie**

Bestimmung der In-situ-Werte (pH, Eh, elektrische Leitfähigkeit, gelöster Sauerstoff, Temperatur) unter Anwendung einer Bohrlochsonde (z.B. SKB CHEMMAC-Probe oder JAEA Geochemical Probe) oder von Durchflusszellen am Bohrlöchkopf für vom Deckgebirge abgepumptes Wasser.

Qualität: 3 Quantität: 2

Analyse für redoxempfindliche gelöste Stoffe (Fe^{2+} , Fe^{3+} und HS^-) kurz nach der Beprobung; Beprobung am Bohrlöchkopf des von einem abgepackerten Intervall im Deckgebirge abgepumpten Wassers.

Qualität: 3 Quantität: 1

D2.8 Feldmessungen - Geomechanik**D2.9 Labor**

Analyse von Wasserproben für gelöste Hauptstoffe (elektrische Leitfähigkeit, Na, K, Ca, Mg, Sr, Cl, SO_4 , HCO_3 , Br, organischer Kohlenstoff), Spurenelemente, gelöste Gase (bei Beprobung ohne Änderung des Wasserdruckes).

Qualität: 3 Quantität: 2

Analyse des gesamten Salzgehaltes der in Kernproben vorhandenen Lösungen im Salinar (bei ausreichender Quantität auch Analyse der gelösten Stoffe).

Qualität: 3 Quantität: 2

D2.10 Untertage Geophysik**D2.11 Untertage geol. Kartierung****D2.12 Untertage Bohrungen****D2.13 Untertage In-situ-Messungen****D2.14 Untertage Labor**

Analyse der Zuflüsse für pH, Eh sowie gelöste Haupt- und Nebenstoffe.

Qualität: 3 Quantität: 1 - 2

Analyse der Lösungseinschlüsse für den gesamten Salzgehalt (bei ausreichender Quantität auch Analyse der gelösten Stoffe).

Qualität: 3 Quantität: 2 - 3

Analyse der Gaseinschlüsse für CH_4 , H_2S , N_2 , O_2 sowie CO_2

Qualität: 2 Quantität: 1 - 2

D3 Transporteigenschaften

D3.1 Fernerkundung

D3.2 Geophysik (übertägig)

D3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

D3.4 Geol. Kartierung

D3.5 Bohrungen

D3.6 Feldmessungen - Geohydraulik

Tracertest im Deckgebirge mit unbekannten Randbedingungen.

Qualität: 1 Quantität: 2

D3.7 Feldmessungen - Geochemie

D3.8 Feldmessungen - Geomechanik

D3.9 Labor

Beschreibung der Geometrie des Porenraumes, welche letztlich Transportprozesse wie Advektion und Diffusion bestimmt; Charakterisierung der Porosität des Wirtsgesteins (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B7b.9).

Qualität: 3 Quantität: 2

Bestimmung der Verteilungskoeffizienten (K_d oder R_d) für relevante Radionuklide an Proben des Deckgebirges bzw. der tonigen Teile des Wirtsgesteins.

Qualität: 3 Quantität: 2

D3.10 Untertage Geophysik

D3.11 Untertage geol. Kartierung

D3.12 Untertage Bohrungen

D3.13 Untertage In-situ-Messungen

Tracertest: Randbedingungen bekannt, großer Maßstab.

Qualität: 3 Quantität: 2

D3.14 Untertage Labor

D4 Kolloide usw.

D4.1 Fernerkundung

D4.2 Geophysik (übertägig)

D4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

D4.4 Geol. Kartierung

D4.5 Bohrungen

D4.6 Feldmessungen - Geohydraulik

D4.7 Feldmessungen - Geochemie

D4.8 Feldmessungen - Geomechanik

D4.9 Labor

Die Teilchen werden getrennt in Korngrößengruppen zwischen 1 Nanometer und 1 Mikrometer durch Ultrafiltration während der Entnahme von Wasserproben mit geringer Kontamination oder anderen Beeinflussungen gezählt sowie bzgl. ihrer mineralischen sowie chemischen Zusammensetzung analysiert; absorbierte gelöste Stoffe werden nach Laugung analysiert.

Qualität: 3 Quantität: 2

D4.10 Untertage Geophysik**D4.11 Untertage geol. Kartierung****D4.12 Untertage Bohrungen****D4.13 Untertage In-situ-Messungen****D4.14 Untertage Labor**

Bestimmung wie bei D4.9 für auftretende Zuflüsse.

Qualität: 3 Quantität: 1 - 2

Literatur

BRAUN, R., JAHNS, E. & STROMEYER, D. (1999): Ermittlung von Gebirgsstrukturen und -belastungen. *Erdöl Erdgas Kohle*, Vol 115, No.4, S. 191-197.

Salzgesteine - flache Lagerung	Erkundungs- methoden: 1-9 übertägig 10-14 untertägig	Fernerkundung	Geophysik (übertägig)	Geophysik (im Bohrloch)	Geol. Kartierung	Bohrungen	Feldmessungen - Geohydraulik	Feldmessungen - Geochemie	Feldmessungen - Geomechanik	Labor	Geophysik	geologische Kartierung	Bohrungen	In-situ- Messungen	Labor
	Bezeichnungen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Inhalte der Themenkomplexe															
Regionale Geologie (20 km*20 km)															
Wirtsgestein / Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)	A1														
Stratigraphie	A2														
Strukturgeologie und Tektonik (Störungsmuster, Faltung)	A3														
Regionales Spannungsfeld	A4														
Temperatur und Wärmeleitfähigkeit	A5														
Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z.B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)	A6														
Rohstoffvorkommen	A7														
Eigenschaften des Wirtsgesteins und der Rahmengesteine am Standort															
Lithologie	B1														
Geometrie (Tiefenlage, Ausdehnung)	B2														
Makro-Struktur (Großgefüge: Störungen / Faltungen / Deformationen / Klüfte)	B3														
Mikro-Struktur (Korngefüge / Porenstruktur)	B4														
In-situ-Spannungsverhältnisse	B5														
Mineralogie	B6														
Petrophysikalische Eigenschaften (Probenmaßstab):															
Gesteinsmechanik (z.B. Festigkeit, Kriechen)	B7a														
Hydraulik (z.B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)	B7b														
Diffusion	B7c														
Thermik	B7d														
THMC-Kopplung	B7e														
Chemismus (z.B. Oxidation, Adsorption)	B7f														
Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)															
Hydraulisch wirksame Einheiten	C1														
Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein	C2														
Fließ- und Speicherparameter	C3														
Zwei-Phasenfluss-Parameter	C4														
Hydrochemie															
Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)	D1														
Porenwasserchemismus	D2														
Transporteigenschaften	D3														
Kolloide usw.	D4														

Erkundungsaktivität

Anhang 10

Dokumentation der abgeleiteten Erkundung -
Salzgesteine in steiler Lagerung

A Regionale Geologie (20 km×20 km)

Zielstellung der Erkundung - ausgehend vom Kenntnisstand nach Auswertung der regional vorhandenen Datenlage:

- Bestätigung der im AkEnd-Verfahrensschritt 3 angenommenen lateralen Ausdehnung des Wirtsgesteins bzw. des Deckgebirges
- Bestätigung der im AkEnd-Verfahrensschritt 3 angenommenen Lage von geologischen Merkmalen wie Großstörungen, die die zur Erkundung ausgewählte Standortregion (< 20 km×20 km) einschränken

Hinweis: Die gezielte Bereitstellung standortspezifischer Daten für die Langzeitsicherheitsanalyse bzw. für die Untersuchung der bautechnischen Machbarkeit der Hohlraumerstellung unter den standortspezifischen Gegebenheiten erfolgt hauptsächlich durch die Erkundungen der Inhalte der Themenkomplexe B, C sowie D.

A1 Wirtsgestein/Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)**A1.1 Fernerkundung****A1.2 Geophysik**

2D-seismische Messungen zur Abgrenzung der Salzstruktur sowie zur Untersuchung von Struktur und Mächtigkeit des Deckgebirges (vor allem Reflexionsseismik).

Qualität: 2 Quantität: 2

Flächenhafte Erkundung der lateralen Ausdehnung der Salzstruktur, von Mächtigkeits- und Materialwechseln im Deckgebirge mit Gravimetrie; in Abhängigkeit von der Art des Deckgebirges können die gravimetrischen Messungen durch magnetische Messungen ergänzt werden; Punktabstand ist abhängig von der Tiefenlage der Salzstockoberkante: Tiefenlage > 300 m → Punktabstand ca. 500 m; Tiefenlage < 300 m → Punktabstand ca. 250 m; quantitative Interpretation über Modellrechnungen.

Qualität: 3 Quantität: 2 - 3

Für alle vorgeschlagenen Verfahren gilt: vor der Durchführung neuer Messungen ist zu prüfen, ob bereits entsprechende Daten im Untersuchungsgebiet vorliegen.

A1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Nach der geophysikalischen Erkundung gezielter Ansatz von Bohrungen und Einsatz des Standardprogramms der Bohrlochmessung (Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur).

Qualität: 2 Quantität: 2

A1.4 Geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung des Deckgebirges.

Qualität: 3 Quantität: 2

A1.5 Bohrungen

Kernbohrungen im Deckgebirge sowie im Salzgestein, z.B. Salzspiegelbohrungen.

Qualität: 3 Quantität: 2

A1.6 Feldmessungen - Geohydraulik**A1.7 Feldmessungen - Geochemie****A1.8 Feldmessungen - Geomechanik**

A1.9 Labor

Untersuchungen an Oberflächenproben des überlagernden und angrenzenden Deckgebirges, wie quartäre Überdeckung und Hutgestein sowie Proben aus gewonnenem Kernmaterial (z.B. auf Mineralbestand, Geochemie, Isotopenanalyse → Gesteinsklassifizierung, Datierungen).

Qualität: 3 Quantität: 3

A1.10 Untertage Geophysik**A1.11 Untertage geol. Kartierung****A1.12 Untertage Bohrungen****A1.13 Untertage In-situ-Messungen****A1.14 Untertage Labor****A2 Stratigraphie****A2.1 Fernerkundung****A2.2 Geophysik (übertägig)****A2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A2.4 Geol. Kartierung**

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung des Deckgebirges (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.4).

Qualität: 3 Quantität: 2

A2.5 Bohrungen

Kernbohrungen im Deckgebirge sowie im Salzgestein (gleiche Datensätze wie A1.5).

Qualität: 3 Quantität: 2

A2.6 Feldmessungen - Geohydraulik**A2.7 Feldmessungen - Geochemie****A2.8 Feldmessungen - Geomechanik****A2.9 Labor**

Untersuchungen an Oberflächenproben sowie Kernmaterial des überlagernden und angrenzenden Deckgebirges (quartäre Überdeckung und Hutgestein) sowie Proben aus gewonnenem Kernmaterial der Wirtsformation (z.B. auf Mineralbestand, Geochemie, Isotopenanalyse → Gesteinsklassifizierung, Datierungen) (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.9).

Qualität: 3 Quantität: 2

A2.10 Untertage Geophysik**A2.11 Untertage geol. Kartierung****A2.12 Untertage Bohrungen****A2.13 Untertage In-situ-Messungen****A2.14 Untertage Labor****A3 Strukturgeologie und Tektonik****A3.1 Fernerkundung**

A3.2 Geophysik (übertägig)

2D-seismische Messungen zur Erfassung von Störungen (vor allem Reflexionsseismik), (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.2).

Qualität: 2 Quantität: 2

Flächenhafte Erkundung von Störungen mit Gravimetrie; in Abhängigkeit von der Art des Deckgebirges können die gravimetrischen Messungen durch magnetische Messungen ergänzt werden; Punktabstand ist abhängig von der Tiefenlage der Salzstockoberkante: Tiefenlage > 300 m → Punktabstand ca. 500 m; Tiefenlage < 300 m → Punktabstand ca. 250 m; quantitative Interpretation über Modellrechnungen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.2).

Qualität: 3 Quantität: 2 - 3

A3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Nach der geophysikalischen Oberflächenerkundung gezielter Ansatz von Bohrungen und Einsatz des Standardprogramms der Bohrlochmessung (Widerstands- und Eigenpotentialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur), (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.3).

Qualität: 2 Quantität: 2

A3.4 Geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung des Deckgebirges (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.4).

Qualität: 3 Quantität: 2

A3.5 Bohrungen

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen, insbesondere Bewertung des Systems Deckgebirge / Gipshut / Salzspiegel als Folge des Salzaufstiegs bis in oberflächennahe Bereiche (vertiefte Auswertung der Datensätze aus A1.5).

Qualität: 3 Quantität: 2

A3.6 Feldmessungen - Geohydraulik**A3.7 Feldmessungen - Geochemie****A3.8 Feldmessungen - Geomechanik****A3.9 Labor****A3.10 Untertage Geophysik****A3.11 Untertage geol. Kartierung****A3.12 Untertage Bohrungen****A3.13 Untertage In-situ-Messungen****A3.14 Untertage Labor****A4 Regionales Spannungsfeld****A4.1 Fernerkundung****A4.2 Geophysik (übertägig)****A4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A4.4 Geol. Kartierung**

A4.5 Bohrungen

A4.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A4.7 Feldmessungen - Geochemie

A4.8 Feldmessungen - Geomechanik

A4.9 Labor

A4.10 Untertage Geophysik

A4.11 Untertage geol. Kartierung

A4.12 Untertage Bohrungen

A4.13 Untertage In-situ-Messungen

A4.14 Untertage Labor

A5 Temperatur und Wärmeleitfähigkeit

A5.1 Fernerkundung

A5.2 Geophysik (übertägig)

A5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Temperaturmessungen in tiefen Bohrungen zur Bewertung des Temperaturgradienten.

Qualität: 3 Quantität: 2

A5.4 Geol. Kartierung

A5.5 Bohrungen

A5.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A5.7 Feldmessungen - Geochemie

A5.8 Feldmessungen - Geomechanik

A5.9 Labor

A5.10 Untertage Geophysik

A5.11 Untertage geol. Kartierung

A5.12 Untertage Bohrungen

A5.13 Untertage In-situ-Messungen

A5.14 Untertage Labor

A6 Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z. B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)

A6.1 Fernerkundung

A6.2 Geophysik (übertägig)

A6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A6.4 Geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung des Deckgebirges (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.4).

Qualität: 3 Quantität: 2

A6.5 Bohrungen

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen, insbesondere Bewertung des Systems Deckgebirge / Gipshut / Salzspiegel als Folge des Salzaufstiegs bis in oberflächennahe Bereiche (*vertiefte Auswertung der Datensätze aus A1.5*).

Qualität: 3 Quantität: 2

A6.6 Feldmessungen - Geohydraulik**A6.7 Feldmessungen - Geochemie****A6.8 Feldmessungen - Geomechanik****A6.9 Labor****A6.10 Untertage Geophysik****A6.11 Untertage geol. Kartierung****A6.12 Untertage Bohrungen****A6.13 Untertage In-situ-Messungen****A6.14 Untertage Labor****A7 Rohstoffvorkommen**

Aufgrund des in Deutschland vorliegenden Kenntnisstandes bezüglich des möglichen Vorkommens gewinnungshöffiger Rohstoffe, sind diesbezügliche keine zusätzlichen Erkundungsmaßnahmen erforderlich.

A7.1 Fernerkundung**A7.2 Geophysik (übertägig)****A7.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A7.4 Geol. Kartierung****A7.5 Bohrungen****A7.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A7.7 Feldmessungen - Geochemie****A7.8 Feldmessungen - Geomechanik****A7.9 Labor****A7.10 Untertage Geophysik****A7.11 Untertage geol. Kartierung****A7.12 Untertage Bohrungen****A7.13 Untertage In-situ-Messungen****A7.14 Untertage Labor*****B Eigenschaften des Wirtsgesteins und des Deckgebirges am Standort*****B1 Lithologie/Stratigraphie****B1.1 Fernerkundung**

B1.2 Geophysik

Flächenhafte gravimetrische und ggf. magnetische Erkundung von Materialwechseln und damit Bestimmung der räumlichen Homogenität sowohl des Wirtsgesteins als auch des Deckgebirges; liegen aus A1.2 bereits Messungen mit einem Punktabstand von ca. 250 m vor, können diese verwendet werden, anderenfalls sind hier Verdichtungsmessungen durchzuführen; quantitative Interpretation über Modellrechnungen.

Vor der Durchführung neuer Messungen ist zu prüfen, ob bereits entsprechende Daten im Untersuchungsgebiet vorliegen.

Qualität: 3 Quantität: 3

Geoelektrische und/oder elektromagnetische Messungen zur Charakterisierung des Deckgebirges; Methodenauswahl ist abhängig von Mächtigkeit und Leitfähigkeit des Deckgebirges; quantitative Interpretation der Ergebnisse.

Qualität: 3 Quantität: 3

B1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Standardbohrlochmessprogramm: Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur.

VSP-Messungen zur Verbesserung der Auswertung seismischer Messungen an der Oberfläche.

Qualität: 2 Quantität: 2

B1.4 Geol. Kartierung**B1.5 Bohrungen**

Kernbohrungen im Deckgebirge sowie in das Salinar.

Qualität: 3 Quantität: 3

B1.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B1.7 Feldmessungen - Geochemie****B1.8 Feldmessungen - Geomechanik****B1.9 Labor**

Untersuchungen an Oberflächenproben des überlagernden und angrenzenden Deckgebirges, wie quartäre Überdeckung und Hutgestein sowie Proben aus gewonnenem Kernmaterial (z.B. auf Mineralbestand, Geochemie, Isotopenanalyse → Gesteinsklassifizierung, Datierungen) - *standort-spezifische Verdichtung der Datensätze aus A1.9.*

Qualität: 3 Quantität: 3

B1.10 Untertage Geophysik**B1.11 Untertage geol. Kartierung**

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung.

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.12 Untertage Bohrungen

Kernbohrungen

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.13 Untertage In-situ-Messungen

In-situ-Messprogramm zur Bestimmung des untertägigen Deformationsverhaltens (Ausbruchsverhalten) für verschiedene stratigraphische Einheiten \Rightarrow z.B. Ausweisung von Homogenbereichen = lithologische Gesteinseinheiten mit vergleichbarem Deformationsverhalten (z.B. berührungslose Vermessung von Konvergenzmarken an der Gebirgskontur entlang einer Strecke, Extensometermessungen für verschiedene stratigraphische Einheiten in Bohrlöchern mit unterschiedlichen Teufenabständen zur Kontur).

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.14 Untertage Labor

Untersuchungen an Gesteinsproben aus Kernmaterial aus dem anstehenden Salinar (Mineralbestand, Geochemie, Isotopenanalyse \rightarrow Gesteinsklassifizierung, Datierungen) - lokale Verdichtung und teufenabhängige Ergänzung der unter A1 bis A3 gewonnenen Datensätze.

Qualität: 3 Quantität: 3

B2 Geometrie**B2.1 Fernerkundung****B2.2 Geophysik (übertägig)**

3D-reflexionsseismische Messungen für eine detaillierte Erfassung der Salzstruktur, speziell der Flanken, möglichst Aussagen zur Mächtigkeit des Salzes sowie Untersuchung von Struktur und Mächtigkeit des Deckgebirges.

Qualität: 3 Quantität: 3

Gravimetrische Messungen mit Punktabständen ≤ 250 m zur Erfassung der Salzstruktur; 3D-Modellierung zusammen mit den seismischen Ergebnissen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.2).

Qualität: 3 Quantität: 3

Geoelektrische und/oder elektromagnetische Messungen zur Erkundung der Struktur des Deckgebirges; Methodenauswahl ist abhängig von Mächtigkeit und Leitfähigkeit des Deckgebirges; quantitative Interpretation der Ergebnisse (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.2).

Qualität: 3 Quantität: 3

B2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Standardbohrlochmessprogramm: Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.3).

VSP-Messungen zur Verbesserung der Auswertung seismischer Messungen an der Oberfläche (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.3).

Qualität: 2 Quantität: 2

B2.4 Geol. Kartierung**B2.5 Bohrungen**

Kernbohrungen im Deckgebirge sowie ins Salzgestein (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.5)

Qualität: 3 Quantität: 3

B2.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B2.7 Feldmessungen - Geochemie**B2.8 Feldmessungen - Geomechanik****B2.9 Labor****B2.10 Untertage Geophysik****B2.11 Untertage geol. Kartierung**

Visuelle Aufnahme (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.11).

Qualität: 1 Quantität: 2

B2.12 Untertage Bohrungen

Kernbohrungen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.12).

Qualität: 3 Quantität: 2

B2.13 Untertage In-situ-Messungen**B2.14 Untertage Labor****B3 Makro-Struktur****B3.1 Fernerkundung****B3.2 Geophysik (übertägig)**

3D-reflexionsseismischen Messungen zur Erkundung von Störungen und Klüftzonen; (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B2.2).

Qualität: 3 Quantität: 3

Flächenhafte gravimetrische Erkundung von Störungen und Klüftzonen mit einem Punktabstand von ≤ 250 m; quantitative Interpretation über Modellrechnungen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.2).

Qualität: 3 Quantität: 3

Geoelektrische und/oder elektromagnetische Messungen zur Erfassung von Störungszonen im Deckgebirge und der Migrationswege stark mineralisierter Wässer im Untergrund; Methodenauswahl ist abhängig von Mächtigkeit und Leitfähigkeit des Deckgebirges; quantitative Interpretation der Ergebnisse (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.2).

Qualität: 3 Quantität: 3

B3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Standardbohrlochmessprogramm: Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.3).

VSP-Messungen zur Verbesserung der Auswertung seismischer Messungen an der Oberfläche (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.3).

Akustisches Bohrlochfernsehen und andere bildgebende Verfahren (z.B. optisches Fernsehen, Formation Microlmager).

Einsatz von Bohrlochradar für die Störungsverfolgung im weiteren Umfeld der Bohrung.

Ggf. crosshole-Tomographie (Georadar) zur Erkundung von Störungsverläufen.

Qualität: 3 Quantität: 2 - 3

B3.4 Geol. Kartierung

Datensätze wie A1.4, aber Vertiefung durch geologische Detailkartierung.

Qualität: 3 Quantität: 3

B3.5 Bohrungen

Kernbohrungen im Deckgebirge sowie ins Salzgestein (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.5).

Qualität: 3 Quantität: 2

B3.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B3.7 Feldmessungen - Geochemie****B3.8 Feldmessungen - Geomechanik****B3.9 Labor****B3.10 Untertage Geophysik**

Primär Radar-, ggf. seismische Messungen von Strecken oder Bohrlöchern aus; ggf. crosshole-Messungen.

Qualität: 3 Quantität: 2 - 3

B3.11 Untertage geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.11).

Qualität: 3 Quantität: 2

B3.12 Untertage Bohrungen

Kernbohrungen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.12).

Qualität: 3 Quantität: 2

B3.13 Untertage In-situ-Messungen

In-situ-Messprogramm zur Bestimmung des untertägigen Deformationsverhaltens vom anstehenden Gebirge und im Bereich von aufgeschlossenen Störungszonen. Neben der Bestimmung von Matrixeigenschaften (vgl. B1.13) sind Teilbewegungen verschiedener Gesteinseinheiten an Störungszonen (z.B. Verschiebungs-(Fissurometer-)messungen an Klüften oder Rissen) zu erfassen. Bezüglich der Auswertung, ist zu berücksichtigen, dass neben tektonischen Effekten auch Umwelteinflüsse (z.B. Temperatur-, Feuchtigkeitsänderungen) die Messungen beeinflussen können. Die Messdaten liefern die Basis für Rück- bzw. Prognoserechnungen mit einem daran zu kalibrierenden numerischen Rechenmodell.

Qualität: 3 Quantität: 2

B3.14 Untertage Labor**B4 Mikro-Struktur****B4.1 Fernerkundung****B4.2 Geophysik (übertägig)****B4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

B4.4 Geol. Kartierung**B4.5 Bohrungen****B4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B4.7 Feldmessungen - Geochemie****B4.8 Feldmessungen - Geomechanik****B4.9 Labor**

Charakterisierung des Wirtsgesteins mittels Struktur- und Gefügeuntersuchungen in verschiedenen Maßstäben; mikroskopische Beschreibung des Porenraumes und dessen Geometrie sowie von Deformationsstrukturen auch hinsichtlich Transportmechanismen und Fließpfaden.

Qualität: 3 Quantität: 1

B4.10 Untertage Geophysik**B4.11 Untertage geol. Kartierung****B4.12 Untertage Bohrungen****B4.13 Untertage In-situ-Messungen****B4.14 Untertage Labor**

Charakterisierung des Wirtsgesteins mittels Struktur- und Gefügeuntersuchungen in verschiedenen Maßstäben (Matrix und Schichtgrenzen bzw. Materialwechsel); mikroskopische Beschreibung des Porenraumes und dessen Geometrie sowie von Deformationsstrukturen auch hinsichtlich Transportmechanismen und Fließpfaden (wie B4.9).

Qualität: 3 Quantität: 2

B5 In-situ-Spannungsverhältnisse**B5.1 Fernerkundung****B5.2 Geophysik (übertägig)****B5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

TelevIEWerbefahrung zur Detektierung von Bohrlochrandausbrüchen.

Qualität: 3 Quantität: 2

B5.4 Geol. Kartierung**B5.5 Bohrungen****B5.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B5.7 Feldmessungen - Geochemie****B5.8 Feldmessungen - Geomechanik**

Bestimmung des Spannungszustandes mittels hydraulic fracturing und Packerabdrucktests; Tests sowohl im Deckgebirge als auch im Wirtsgestein. Im Gegensatz zum Salinar sind Spannungsbestimmungen im salinaren Deckgebirge und in Lockergesteinsbereichen problematisch.

Qualität: 2 Quantität: 1

B5.9 Labor**B5.10 Untertage Geophysik**

Nach bzw. während des Auffahrens der Strecken Errichtung eines mikroseismischen Netzwerkes untertage zur Erfassung spannungsbedingter Ereignisse → Lokalisierung von Spannungskonzentrationen mit bruchhaften Ereignissen.

Qualität: 3 Quantität: 3

B5.11 Untertage geol. Kartierung**B5.12 Untertage Bohrungen****B5.13 Untertage In-situ-Messungen**

Sondierungen in flachen Bohrungen - Teufe bis 20 m (z.B. hydraulic fracturing; Schlitzsonde); Verformungs- bzw. Kraftmessungen an Ausbaukomponenten z.B. über Druckkissen oder Extensometer - mehrere Einzelmessungen entlang eines Profils mit definiertem Abstand liefern Messdaten für ein Raummodell. Zusätzlich zur Auswertung des lithologischen Teufenprofils für die Ableitung des lokalen Spannungskoeffizienten sind in der Einlagerungsebene mutmaßlich auftretende lokale Spannungskonzentrationen bzw. -senken im Bereich von Anstauungen oder kompetenten Schichten mittels Fracmessungen zu bewerten (z.B. Anhydrit).

Qualität: 3 Quantität: 3

B5.14 Untertage Labor**B6 Mineralogie****B6.1 Fernerkundung****B6.2 Geophysik (übertägig)****B6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B6.4 Geol. Kartierung****B6.5 Bohrungen****B6.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B6.7 Feldmessungen - Geochemie****B6.8 Feldmessungen - Geomechanik****B6.9 Labor**

Charakterisierung des Wirtsgesteins zur mineralogischen Zusammensetzung, Hauptbestandteile und Akzessorien sowie Verteilung der Komponenten; zusätzlich Bestimmung der Mineralogie von Kluffüllungen und Störungsmineralisationen (hinsichtlich Stofftransport, Lösung, Fällung); an Kernmaterial aber auch an Bohrklein möglich; geeignete qualitative und quantitative Methoden sind mineraloptische Untersuchungen (Dickschliff-, Dünnschliff-, Auflichtmikroskopie) und Röntgendiffraktometrie. Darüber hinaus liefert die Analyse von Spurenelementen (z.B. Br, Sr) analog zur Analyse von zutretenden Salzlösungen (vgl. D2.9) wertvolle Hinweise zur stratigraphischen Einordnung.

Qualität: 3 Quantität: 2

B6.10 Untertage Geophysik**B6.11 Untertage geol. Kartierung****B6.12 Untertage Bohrungen****B6.13 Untertage In-situ-Messungen**

Radiometrische ⁴⁰K-Messungen zur Bestimmung von Kalisalzgehalten.

Qualität: 2 Quantität: 2

B6.14 Untertage Labor

Vervollständigung der Datensätze aus B6.9.

Qualität: 3 Quantität: 3

B7 Petrophysikalische Eigenschaften**B7a Gesteinsmechanik****B7a.1 Fernerkundung****B7a.2 Geophysik (übertägig)****B7a.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7a.4 Geol. Kartierung****B7a.5 Bohrungen****B7a.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7a.7 Feldmessungen - Geochemie****B7a.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7a.9 Labor**

Durchführung von geotechnischen Laborversuchen in Form von Triaxial-, Uniaxial-, Spaltzug- und Scherversuchen an geeignetem Kernmaterial zur Bestimmung von gesteinsmechanischen Parametern von Matrix- und Trennflächeneigenschaften (z.B. Festigkeit, MOHR-COULOMB-Parameter, spezifische Stoffgesetzparameter); das Kernmaterial sollte sowohl aus dem Einlagerungshorizont im Wirtsgestein als auch aus den Deckgebirgsschichten stammen.

Bestimmung von gesteinsphysikalischen Parametern wie Dichte und Ultraschallgeschwindigkeiten sowie daraus abgeleiteter dynamisch elastischer Eigenschaften zur Charakterisierung der Wirtsgesteineigenschaften an Kernmaterial aus definierten Teufenbereichen bzw. an Kernmaterial mit Materialwechsel/Schichtgrenzen.

Erarbeitung eines geomechanischen 3D-Modells.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B7a.10 Untertage Geophysik**B7a.11 Untertage geol. Kartierung****B7a.12 Untertage Bohrungen****B7a.13 Untertage In-situ-Messungen**

In-situ-Messprogramm zur Bestimmung des untertägigen Deformationsverhaltens (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B3.13).

Qualität: 3 Quantität: 2

B7a.14 Untertage Labor

Vervollständigung der Datensätze aus B7a.9: Präzisierung des geomechanischen 3D-Modells.

Qualität: 3 Quantität: 3

B7b Hydraulisch (z. B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)**B7b.1 Fernerkundung****B7b.2 Geophysik (übertägig)****B7b.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7b.4 Geol. Kartierung****B7b.5 Bohrungen****B7b.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7b.7 Feldmessungen - Geochemie**

B7b.8 Feldmessungen - Geomechanik**B7b.9 Labor**

Bestimmung der Porosität des Wirtsgesteins mittels laboranalytischer Methoden (Pyknometer-Porosität, Wasserverlust-Porosität.); ebenso Bestimmung von Sättigung sowie Permeabilität des Wirtsgesteins (intaktes Gestein, aufgelockerte Kontur); Maßstab: cm- bis dm-Bereich.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1

B7b.10 Untertage Geophysik

Charakterisierung von lokalen Auflockerungszonen bis in den m-Maßstab mittels ortsauflösender geophysikalischer Verfahren (z.B. Georadar, Seismik, Geoelektrik).

Qualität: 2 Quantität: 2

B7b.11 Untertage geol. Kartierung**B7b.12 Untertage Bohrungen****B7b.13 Untertage In-situ-Messungen**

Kleinmaßstäbliche Permeabilitätsmessungen mittels Bohrlochsonden bzw. Oberflächenpackern (→ Bestimmung der Permeabilität im cm- bis dm-Maßstab).

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B7b.14 Untertage Labor

Vervollständigung der Datensätze aus B7b.9.

Qualität: 3 Quantität: 2

B7c Diffusion

Hinweis: Zu den Diffusionseigenschaften von Steinsalz liegen generische Ergebnisse im Labor- und Bohrkernmaßstab vor, wobei derartige Prozesse im Steinsalz vernachlässigbar sind und somit allenfalls exemplarisch wiederholt werden müssten.

B7c.1 Fernerkundung**B7c.2 Geophysik (übertägig)****B7c.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7c.4 Geol. Kartierung****B7c.5 Bohrungen****B7c.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7c.7 Feldmessungen - Geochemie****B7c.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7c.9 Labor****B7c.10 Untertage Geophysik****B7c.11 Untertage geol. Kartierung****B7c.12 Untertage Bohrungen****B7c.13 Untertage In-situ-Messungen****B7c.14 Untertage Labor**

B7d Thermisch**B7d.1 Fernerkundung****B7d.2 Geophysik (übertägig)****B7d.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7d.4 Geol. Kartierung****B7d.5 Bohrungen****B7d.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7d.7 Feldmessungen - Geochemie****B7d.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7d.9 Labor**

Bestimmung von Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität und Wärmeausdehnung an Kernproben im Labor.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B7d.10 Untertage Geophysik**B7d.11 Untertage geol. Kartierung****B7d.12 Untertage Bohrungen****B7d.13 Untertage In-situ-Messungen**

Aufheizversuche in Bohrlöchern bzw. großskalige Erhitzeranordnungen zur Simulation der Einlagerung von wärmeproduzierenden Abfallgebinden.

Qualität: 3 Quantität: 2

Vervollständigung der Datensätze aus B7d.9 (Vorteil: bessere Probenahmemöglichkeit).

Qualität: 3 Quantität: 3

B7d.14 Untertage Labor**B7e THMC-Kopplung****B7e.1 Fernerkundung****B7e.2 Geophysik (übertägig)****B7e.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7e.4 Geol. Kartierung****B7e.5 Bohrungen****B7e.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7e.7 Feldmessungen - Geochemie****B7e.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7e.9 Labor**

Laboruntersuchungen zur Bestimmung von THMC-Eigenschaften unter definierten Randbedingungen (Nachteil: aufgelockertes Kernmaterial sowie skalenabhängige Repräsentativität).

Anmerkung: Aufgrund der wechselseitigen Überlagerung der verschiedenen Einflussparameter (z.B. Spannungsfeld, Porendruck, Feuchtigkeit, Sättigung, Temperatur und geochemisches Milieu) auf den zu charakterisierenden Prozess bzw. die daraus resultierende Eigenschaft, z.B. mechanische Festigkeit oder hydraulische Durchlässigkeit gibt es keine experimentellen Standarduntersuchungsverfahren. Hinzu kommt, dass bestimmte Prozesse z.B. poroelastische Effekte, wenn sie elastisch bedingt sind, bei Änderung der Randbedingungen spontane Effekte bewirken können (z.B. Zunahme des Porendrucks bei isostatischer Belastung einer wassergesättigten Probe) oder z.B. bei chemischen

Reaktionen extrem zeitabhängig sind. In der Konsequenz handelt es sich bei diesen Untersuchungen in erster Linie um generische Untersuchungen zum grundsätzlichen Verständnis der Effekte, wobei eine standortspezifische Umsetzung der Ergebnisse z.B. für die Bewertung untertägiger Messungen nur über komplexe numerische Modellrechnungen erfolgen kann (vgl. B7e.11).

Aufgrund der daraus resultierenden Komplexität werden aktuell zumeist an Kernproben ($\varnothing = 10$ bis 40 cm) der zu charakterisierenden Gesteinsformation unter einer definierten Einspannung einzelne Randbedingungen, wie z.B. der Porendruck oder geochemische Zustandsbedingungen zur Initiierung von Fällungs- oder Lösungsreaktionen kontrolliert geändert und die integral gemessenen Eigenschaften (Festigkeit, Permeabilität) für verschiedene Bedingungen bestimmt. Auf Basis dieser experimentellen Untersuchungen werden empirische Zusammenhänge abgeleitet, die eine Basis für numerische Modellrechnungen liefern. Im Rahmen verschiedener EU-Projekte werden aktuell die vorhandenen numerischen Werkzeuge (z.B. TOUGH2) und Rechenansätze für verschiedene Gesteine (Theresa - Salzgestein; Timodaz - Tonstein) verglichen und bezüglich ihrer Eignung bewertet.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B7e.10 Untertage Geophysik

B7e.11 Untertage geol. Kartierung

B7e.12 Untertage Bohrungen

B7e.13 Untertage In-situ-Messungen

Großskalige In-situ-Versuche zur Bestimmung von THMC-Eigenschaften unter repräsentativen Randbedingungen (Einbeziehung der Datensätze aus B7d.13): In Ergänzung der vorliegenden Labordatensätze sind insbesondere zur Bewertung möglicher Skaleneffekte langjährige Großversuche durchzuführen. Hierzu gehören z.B. Erhitzerversuche oder Testen von Abschlussbauwerken, bei denen unter realitätsnahen Bedingungen mit Änderung der Randparameter (z.B. Temperaturerhöhung oder hydraulische Belastung) eine Vielzahl von Messparametern (z.B. mechanische Dehnung, Temperatur, Feuchtigkeit, Durchlässigkeit, geochemische Kenngrößen), dreidimensional im Messfeld verteilt über einen längeren Zeitraum gemessen werden. Diese umfangreiche Datenbasis ist unerlässlich für eine Kalibrierung der numerischen Modellrechnungen, die eine Prognose des Einflusses von THMC-Prozessen auf die langzeitliche mechanische und hydraulische Integrität der geologischen Barriere während der Betriebsphase und nach Verschluss des Endlagers ermöglichen sollen.

Anmerkung: Aufgrund der Komplexität von THMC-Prozessen zielen die Untersuchungen nicht auf ein vollständiges, quantitatives Verständnis dieser Prozesse ab, sondern mit den Untersuchungen muss zumindest die Größenordnung der zu erwartenden Effekte infolge von Auffahrung und Betrieb eines Endlagers aufgrund der daraus resultierenden veränderten Randbedingungen für den Nachweis der Langzeitsicherheit abschätz- und bewertbar sein.

Qualität: 3 Quantität: 1

B7e.14 Untertage Labor

Vervollständigung der Datenbasis aus B7e.9 (Im Gegensatz zur Bohrkerngewinnung aus tiefen Bohrungen können hier unter sehr viel günstigeren Bedingungen über Grossbohrlöcher bzw. eine Grossblockentnahme schonender und damit weniger sekundär durch Auflockerung beeinflusste Proben gewonnen werden).

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B7f Chemische Eigenschaften (z.B. Oxidation, Adsorption)

Hinweis: Oxidations- bzw. Absorptionseffekte im Steinsalz sind vernachlässigbar.

B7f.1 Fernerkundung

B7f.2 Geophysik (übertägig)

B7f.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7f.4 Geol. Kartierung

B7f.5 Bohrungen**B7f.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7f.7 Feldmessungen - Geochemie****B7f.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7f.9 Labor****B7f.10 Untertage Geophysik****B7f.11 Untertage geol. Kartierung****B7f.12 Untertage Bohrungen****B7f.13 Untertage In-situ-Messungen****B7f.14 Untertage Labor****C Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)**

Hinweis: Aufgrund der nachgewiesenen hohen Dichtheit von unverritztem Steinsalz sind hydraulische Messungen auf die Auflockerungszone (ALZ) um Hohlräume (→ Bestimmung der Reichweite der ALZ) bzw. auf den Bereich von lithologischen Inhomogenitäten (z.B. Schichtgrenzen, Anhydrit-einschaltungen, tektonische Beanspruchungszone) zum Nachweis einer lokal variierenden Permeabilität fokussiert).

C1 Hydraulisch wirksame Einheiten**C1.1 Fernerkundung****C1.2 Geophysik (übertägig)**

Elektromagnetische Messungen (TDEM, CSAMT) zur Erfassung laugengesättigter Schichten; quantitative Interpretation der Ergebnisse (evtl. Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B3.2).

Qualität: 3 Quantität: 3

C1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Standardbohrlochmessprogramm: Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.3).

Qualität: 2 Quantität: 2

Akustisches Bohrlochfernsehen und andere bildgebende Verfahren (z.B. optisches Fernsehen, Formation Microlmager) zur Erfassung wasserführender Kluftsysteme; Einsatz von Bohrlochradar für die Störungsverfolgung im weiteren Umfeld der Bohrung; ggf. crosshole-Tomographie (Georadar) zur Erkundung von Störungsverläufen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B3.3).

Qualität: 3 Quantität: 2 - 3

C1.4 Geol. Kartierung**C1.5 Bohrungen**

Kernbohrungen im Deckgebirge sowie Salzgestein (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.5)

Qualität: 3 Quantität: 2

C1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil.

Qualität: 3 Quantität: 1

C1.7 Feldmessungen - Geochemie**C1.8 Feldmessungen - Geomechanik****C1.9 Labor****C1.10 Untertage Geophysik**

Einsatz von Bohrlochradar für die Störungsverfolgung und Wasserwegsamkeiten im weiteren Umfeld der aufgefahrenen Hohlräume; ggf. crosshole-Tomographie (Georadar) zur Erkundung von Störungsverläufen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B3.3).

Qualität: 3 Quantität: 2 - 3

C1.11 Untertage geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.11).

Qualität: 3 Quantität: 2

C1.12 Untertage Bohrungen

Kernbohrungen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.12).

Qualität: 3 Quantität: 2

C1.13 Untertage In-situ-Messungen

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil; Anmerkung: für die Auswertung hydraulischer Messungen im dichten Salzgestein müssen spezifische Messprozeduren und Auswertungs-algorithmen eingesetzt werden.

Qualität: 3 Quantität: 1

C1.14 Untertage Labor**C2 Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein****C2.1 Fernerkundung****C2.2 Geophysik (übertägig)****C2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C2.4 Geol. Kartierung****C2.5 Bohrungen****C2.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

Multi-Packer-Beobachtungen (nur im Wirts- bzw. Rahmengestein).

Qualität: 3 Quantität: 1

C2.7 Feldmessungen - Geochemie**C2.8 Feldmessungen - Geomechanik**

C2.9 Labor**C2.10 Untertage Geophysik****C2.11 Untertage geol. Kartierung****C2.12 Untertage Bohrungen****C2.13 Untertage In-situ-Messungen**

Multi-Packer-Beobachtungen (Hinweis: Aufgrund der geringen Feuchtigkeitsgehalte im Steinsalz sind Porenwasserdrücke nicht zu erwarten, allerdings können Fluide wie CO₂ bzw. Kohlenwasserstoffe, auftreten, die lokal zu Fluiddrücken bis in der Größenordnung des lithostatischen Teufendruckes führen können.)

Qualität: 3 Quantität: 1

C2.14 Untertage Labor**C3 Fließ- und Speicherparameter****C3.1 Fernerkundung****C3.2 Geophysik (übertägig)****C3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C3.4 Geol. Kartierung****C3.5 Bohrungen****C3.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.6) - nur im Deckgebirge, für das Salinar nicht relevant.

Qualität: 3 Quantität: 1

C3.7 Feldmessungen - Geochemie**C3.8 Feldmessungen - Geomechanik****C3.9 Labor****C3.10 Untertage Geophysik****C3.11 Untertage geol. Kartierung****C3.12 Untertage Bohrungen****C3.13 Untertage In-situ-Messungen**

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.13)

Qualität: 3 Quantität: 1

C3.14 Untertage Labor**C4 Zwei-Phasenfluss-Parameter****C4.1 Fernerkundung****C4.2 Geophysik (übertägig)****C4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C4.4 Geol. Kartierung**

C4.5 Bohrungen**C4.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.6).

Qualität: 3 Quantität: 1

C4.7 Feldmessungen - Geochemie**C4.8 Feldmessungen - Geomechanik****C4.9 Labor****C4.10 Untertage Geophysik****C4.11 Untertage geol. Kartierung****C4.12 Untertage Bohrungen****C4.13 Untertage In-situ-Messungen**

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.13).

Qualität: 3 Quantität: 1

C4.14 Untertage Labor**D Hydrochemie**

Hinweis: Bei hydrochemischen Untersuchungen ist grundsätzlich zwischen der Analyse von Deckgebirgslösungen und hochsalinaren Lösungen im Salzgestein zu unterscheiden. Da ansonsten die Feuchtigkeitsgehalte im Steinsalz extrem gering sind, liegt der Schwerpunkt bei den in der Wertscheinstoffinformation zutretenden Lösungen in der Abklärung, ob es sich um von außen zutretende oder um Formationslösungen handelt, die im Gleichgewicht mit dem Salzgebirge stehen.

D1 Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)**D1.1 Fernerkundung****D1.2 Geophysik (übertägig)****D1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D1.4 Geol. Kartierung****D1.5 Bohrungen****D1.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D1.7 Feldmessungen - Geochemie****D1.8 Feldmessungen - Geomechanik****D1.9 Labor**

Analyse stabiler Isotopen ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ und $^2\text{H}/^1\text{H}$) in anstehenden oder zutretenden Lösungen im Salinar sowie Wasserproben im Deckgebirge. Analyse von Tritium (^3H) in allen Proben, um Kontaminationen sowie das Eindringen jüngerer Wässer ins Deckgebirge zu erkennen.

Qualität: 3 Quantität: 2

Analyse von ^{14}C sowie stabiler Kohlenstoffisotopen ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) in ausgewählten Proben mit geringer Kontamination (< 2%).

Qualität: 3 Quantität: 2

Analyse von Helium (^4He) in Wasserproben des Deckgebirges; Proben wurden genommen, um gelöste Gase und das Akkumulationsalter (erforderliche Zeit, nach welcher die gemessene Konzentration erreicht wird) zu bestimmen. (Erforderlich sind auch Informationen zum U- sowie Th-Gehalt des Gesteins, um die natürliche Entstehung von ^4He zu berechnen.)

Qualität: 3 Quantität: 2

D1.10 Untertage Geophysik**D1.11 Untertage geol. Kartierung****D1.12 Untertage Bohrungen****D1.13 Untertage In-situ-Messungen****D1.14 Untertage Labor**

Analyse von Tritium (^3H) in anstehenden oder zutretenden Lösungen im Salinar, um Kontamination zu erkennen sowie das Eindringen jüngerer Wässer festzustellen.

Qualität: 3 Quantität: 3

Analyse von ^{14}C sowie stabiler Kohlenstoffisotopen ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) in anstehenden oder zutretenden Lösungen im Salinar, um das Eindringen jüngerer Wässer festzustellen.

Qualität: 3 Quantität: 2

Analyse stabiler Isotopen ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ und $^2\text{H}/^1\text{H}$) in anstehenden oder zutretenden Lösungen im Salinar.

Qualität: 3 Quantität: 1 - 2

D2 Porenwasserchemismus**D2.1 Fernerkundung****D2.2 Geophysik (übertägig)**

Geoelektrische und/oder elektromagnetische Messungen können zur Erfassung des Mineralisationsgrades im Deckgebirge herangezogen werden; Methodenauswahl ist abhängig von Mächtigkeit und Leitfähigkeit des Deckgebirges; quantitative Interpretation der Ergebnisse (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.2).

Qualität: 3 Quantität: 3

D2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Standardbohrlochmessprogramm, vor allem Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.3).

Qualität: 2 Quantität: 2

D2.4 Geol. Kartierung**D2.5 Bohrungen****D2.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D2.7 Feldmessungen - Geochemie**

Bestimmung der In-situ-Werte (pH, Eh, elektrische Leitfähigkeit, gelöster Sauerstoff, Temperatur) unter Anwendung einer Bohrlochsonde (z.B. SKB CHEMMAC-Probe oder JAEA Geochemical Probe) oder von Durchflusszellen am Bohrlochkopf für vom Deckgebirge abgepumptes Wasser.

Qualität: 3 Quantität: 2

Analyse für redoxempfindliche gelöste Stoffe (Fe^{2+} , Fe^{3+} und HS^-); Beprobung am Bohrlochkopf des von einem abgepackerten Intervall im Deckgebirge abgepumpten Wassers.

Qualität: 3 Quantität: 1

D2.8 Feldmessungen - Geomechanik

D2.9 Labor

Analyse von Wasserproben für gelöste Hauptstoffe (elektrische Leitfähigkeit, Na, K, Ca, Mg, Sr, Cl, SO_4 , HCO_3 , Br, organischer Kohlenstoff), Spurenelemente sowie gelöste Gase (bei Beprobung ohne Änderung des Wasserdruckes).

Qualität: 3 Quantität: 2

Analyse des gesamten Salzgehalts der in Kernproben vorhandenen Lösungen im Salinar (bei ausreichender Quantität auch Analyse der gelösten Stoffe).

Qualität: 3 Quantität: 2

D2.10 Untertage Geophysik

D2.11 Untertage geol. Kartierung

D2.12 Untertage Bohrungen

D2.13 Untertage In-situ-Messungen

D2.14 Untertage Labor

Analyse der Zuflüsse für pH, Eh sowie gelöste Haupt- und Nebenstoffe.

Qualität: 3 Quantität: 1 - 2

Analyse der Lösungseinschlüsse für den gesamten Salzgehalt (bei ausreichender Quantität auch Analyse der gelösten Stoffe).

Qualität: 3 Quantität: 2 - 3

Analyse der Gaseinschlüsse für CH_4 , H_2S , N_2 , O_2 sowie CO_2 .

Qualität: 2 Quantität: 1 - 2

D3 Transporteigenschaften

Aufgrund der geringen Feuchtigkeitsgehalte im Steinsalz und der niedrigen Permeabilität ist ein Stofftransport von Nukliden im Wirtsgestein Salz zu vernachlässigen, könnte aber im Deckgebirge eine Rolle spielen, wenn es zur Barrierenbewertung mit herangezogen werden müsste.

D3.1 Fernerkundung

D3.2 Geophysik (übertägig)

D3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

D3.4 Geol. Kartierung

D3.5 Bohrungen

D3.6 Feldmessungen - Geohydraulik

Tracertest mit unbekannten Randbedingungen

Qualität: 1 Quantität: 2

D3.7 Feldmessungen - Geochemie

D3.8 Feldmessungen - Geomechanik

D3.9 Labor

Beschreibung der Geometrie des Porenraumes, welche letztlich Transportprozesse wie Advektion und Diffusion bestimmt; Charakterisierung der Porosität des Wirtsgesteins (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B7b.9).

Qualität: 3 Quantität: 2

Bestimmung der Verteilungskoeffizienten (K_d oder R_d) für relevante Radionuklide an Proben des Deckgebirges.

Qualität: 3 Quantität: 2

D3.10 Untertage Geophysik**D3.11 Untertage geol. Kartierung****D3.12 Untertage Bohrungen****D3.13 Untertage In-situ-Messungen**

Tracertest: Randbedingungen bekannt, großer Maßstab.

Qualität: 3 Quantität: 2

D3.14 Untertage Labor**D4 Kolloide usw.**

Aufgrund der geringen Feuchtigkeitsgehalte im Steinsalz und der niedrigen Permeabilität ist ein Stofftransport von Nukliden, gebunden an Kolloide, zu vernachlässigen, könnte aber im Deckgebirge eine Rolle spielen, wenn es zur Barrierenbewertung mit herangezogen werden müsste.

D4.1 Fernerkundung**D4.2 Geophysik (übertägig)****D4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D4.4 Geol. Kartierung****D4.5 Bohrungen****D4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D4.7 Feldmessungen - Geochemie****D4.8 Feldmessungen - Geomechanik****D4.9 Labor**

Die Teilchen werden getrennt in Korngrößengruppen zwischen 1 Nanometer und 1 Mikrometer durch Ultrafiltration während der Entnahme von Wasserproben mit geringer Kontamination oder anderen Beeinflussungen gezählt sowie bzgl. ihrer mineralischen sowie chemischen Zusammensetzung analysiert; absorbierte gelöste Stoffe werden nach Laugung analysiert.

Qualität: 3 Quantität: 2

D4.10 Untertage Geophysik**D4.11 Untertage geol. Kartierung****D4.12 Untertage Bohrungen****D4.13 Untertage In-situ-Messungen****D4.14 Untertage Labor**

Bestimmung wie bei D4.9 für auftretende Zuflüsse.

Qualität: 3 Quantität: 1 - 2

Salzgesteine - steile Lagerung	Erkundungs- methoden: 1-9 übertägig 10-14 untertägig	Fernerkundung	Geophysik (übertägig)	Geophysik (im Bohrloch)	Geol. Kartierung	Bohrungen	Feldmessungen - Geohydraulik	Feldmessungen - Geochemie	Feldmessungen - Geomechanik	Labor	Geophysik	geologische Kartierung	Bohrungen	In-situ- Messungen	Labor
	Bezeichnungen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Inhalte der Themenkomplexe															
Regionale Geologie (20 km*20 km)															
Wirtsgestein / Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)	A1														
Stratigraphie	A2														
Strukturgeologie und Tektonik (Störungsmuster, Faltung)	A3														
Regionales Spannungsfeld	A4														
Temperatur und Wärmeleitfähigkeit	A5														
Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z.B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)	A6														
Rohstoffvorkommen	A7														
Eigenschaften des Wirtsgesteins und der Rahmengesteine am Standort															
Lithologie	B1														
Geometrie (Tiefenlage, Ausdehnung)	B2														
Makro-Struktur (Großgefüge: Störungen / Faltungen / Deformationen / Klüfte)	B3														
Mikro-Struktur (Korngefüge / Porenstruktur)	B4														
In-situ-Spannungsverhältnisse	B5														
Mineralogie	B6														
Petrophysikalische Eigenschaften (Probenmaßstab):															
Gesteinsmechanik (z.B. Festigkeit, Kriechen)	B7a														
Hydraulik (z.B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)	B7b														
Diffusion	B7c														
Thermik	B7d														
THMC-Kopplung	B7e														
Chemismus (z.B. Oxidation, Adsorption)	B7f														
Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)															
Hydraulisch wirksame Einheiten	C1														
Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein	C2														
Fließ- und Speicherparameter	C3														
Zwei-Phasenfluss-Parameter	C4														
Hydrochemie															
Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)	D1														
Porenwasserchemismus	D2														
Transporteigenschaften	D3														
Kolloide usw.	D4														
		Erkundungsaktivität													

Anhang 11

Dokumentation der abgeleiteten Erkundung -
Tone und Tonsteine

A Regionale Geologie (20 km×20 km)

Zielstellung der Erkundung - ausgehend vom Kenntnisstand nach Auswertung der regional vorhandenen Datenlage:

- Bestätigung der im AkEnd-Verfahrensschritt 3 angenommenen lateralen Ausdehnung des Wirtsgesteins bzw. des Deckgebirges
- Bestätigung der im AkEnd-Verfahrensschritt 3 angenommenen Lage von geologischen Merkmalen wie Großstörungen, die die zur Erkundung ausgewählte Standortregion (< 20 km×20 km) einschränken

Hinweis: Die gezielte Bereitstellung standortspezifischer Daten für die Langzeitsicherheitsanalyse bzw. die Untersuchung der bautechnischen Machbarkeit der Hohlraumerstellung unter den standortspezifischen Gegebenheiten erfolgt hauptsächlich durch die Erkundungen der Inhalte der Themenkomplexe B, C sowie D.

A1 Wirtsgestein/Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)**A1.1 Fernerkundung****A1.2 Geophysik**

2D-seismische Messungen zur Bestimmung der Wirtsgesteinsoberfläche sowie zu Struktur und Mächtigkeit der Lockerbedeckung (Reflexions- und/oder Refraktionsseismik); Aussagen zur Mächtigkeit des Wirtsgesteins.

Vor der Durchführung neuer Messungen ist zu prüfen, ob bereits seismische Messungen im Untersuchungsgebiet vorliegen, die über Reprocessing einbezogen werden können.

Qualität: 2 Quantität: 2

A1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Nach der geophysikalischen Oberflächenerkundung gezielter Ansatz von Bohrungen und Einsatz des Standardprogramms der Bohrlochmessung (Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), magnetische Suszeptibilität, Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur).

VSP und Sonic-Log zur Unterstützung der Interpretation der seismischen Messungen.

Qualität: 3 Quantität: 2

A1.4 Geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung des Deckgebirges sowie eventuell in der Region vorhandener Ausbisse des Wirtsgesteins.

Qualität: 3 Quantität: 2

A1.5 Bohrungen

Kernbohrungen im Deckgebirge sowie Wirtsgestein und Rahmengestein.

Qualität: 3 Quantität: 1

A1.6 Feldmessungen - Geohydraulik**A1.7 Feldmessungen - Geochemie****A1.8 Feldmessungen - Geomechanik**

A1.9 Labor

Untersuchungen an Oberflächenproben und Kernmaterial (Mineralbestand, Geochemie, Isotopenanalyse → Gesteinsklassifizierung, Datierungen).

Qualität: 3 Quantität: 2

A1.10 Untertage Geophysik**A1.11 Untertage geol. Kartierung****A1.12 Untertage Bohrungen****A1.13 Untertage In-situ-Messungen****A1.14 Untertage Labor****A2 Stratigraphie****A2.1 Fernerkundung****A2.2 Geophysik (übertägig)**

2D-seismische Messungen zur Erfassung von Horizonten (Reflexionsseismik), (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.2).

Qualität: 2 Quantität: 2

A2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Nach der geophysikalischen Oberflächenerkundung gezielter Ansatz von Bohrungen und Einsatz des Standardprogramms der Bohrlochmessung (Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), magnetische Suszeptibilität, Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur); hoch auflösende Messungen des elektrischen Widerstandes zur stratigraphischen Gliederung.

VSP und Sonic-Log zur Unterstützung der Interpretation der seismischen Messungen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.3).

Qualität: 3 Quantität: 2

A2.4 Geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung des Deckgebirges sowie eventuell in der Region vorhandener Ausbisse des Wirtsgesteins (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.4).

Qualität: 3 Quantität: 2

A2.5 Bohrungen

Kernbohrungen im Deckgebirge sowie Wirtsgestein und Rahmengestein - gleiche Datensätze wie in A1.5.

Qualität: 3 Quantität: 1

A2.6 Feldmessungen - Geohydraulik**A2.7 Feldmessungen - Geochemie****A2.8 Feldmessungen - Geomechanik**

A2.9 Labor

Untersuchungen an Oberflächenproben und Kernmaterial (Mineralbestand, Geochemie, Isotopenanalyse → Gesteinsklassifizierung, Datierungen), (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.9).

Qualität: 3 Quantität: 2

A2.10 Untertage Geophysik**A2.11 Untertage geol. Kartierung****A2.12 Untertage Bohrungen****A2.13 Untertage In-situ-Messungen****A2.14 Untertage Labor****A3 Strukturgeologie und Tektonik****A3.1 Fernerkundung****A3.2 Geophysik (übertägig)**

2D-seismische Messungen zur Erfassung von Störungszonen, Faltungsvorgängen und vertikalen Versätzen (Reflexionsseismik), (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.2).

Qualität: 2 Quantität: 2

A3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Nach der geophysikalischen Oberflächenerkundung gezielter Ansatz von Bohrungen und Einsatz des Standardprogramms der Bohrlochmessung (Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), magnetische Suszeptibilität, Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur).

VSP und Sonic-Log zur Unterstützung der Interpretation der seismischen Messungen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.3).

Qualität: 3 Quantität: 2

A3.4 Geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung des Deckgebirges sowie eventuell in der Region vorhandener Ausbisse des Wirtsgesteins (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.4).

Qualität: 3 Quantität: 2

A3.5 Bohrungen**A3.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A3.7 Feldmessungen - Geochemie****A3.8 Feldmessungen - Geomechanik****A3.9 Labor**

Untersuchungen an Oberflächenproben und Kernmaterial (Texturanalyse z.B. U-Tisch, Neutronentextur).

Qualität: 3 Quantität: 1

A3.10 Untertage Geophysik

A3.11 Untertage geol. Kartierung

A3.12 Untertage Bohrungen

A3.13 Untertage In-situ-Messungen

A3.14 Untertage Labor

A4 Regionales Spannungsfeld

A4.1 Fernerkundung

A4.2 Geophysik (übertägig)

A4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A4.4 Geol. Kartierung

A4.5 Bohrungen

A4.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A4.7 Feldmessungen - Geochemie

A4.8 Feldmessungen - Geomechanik

A4.9 Labor

A4.10 Untertage Geophysik

A4.11 Untertage geol. Kartierung

A4.12 Untertage Bohrungen

A4.13 Untertage In-situ-Messungen

A4.14 Untertage Labor

A5 Temperatur und Wärmeleitfähigkeit

A5.1 Fernerkundung

A5.2 Geophysik (übertägig)

A5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Temperaturmessungen in tiefen Bohrungen zur Bewertung des Temperaturgradienten im Deckgebirge und im Wirtsgestein.

Qualität: 3 Quantität: 2

A5.4 Geol. Kartierung

A5.5 Bohrungen

A5.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A5.7 Feldmessungen - Geochemie

A5.8 Feldmessungen - Geomechanik

A5.9 Labor

A5.10 Untertage Geophysik

A5.11 Untertage geol. Kartierung

A5.12 Untertage Bohrungen

A5.13 Untertage In-situ-Messungen

A5.14 Untertage Labor

A6 Geodynamik/Entwicklungsgeschichte (z.B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)**A6.1 Fernerkundung****A6.2 Geophysik (übertägig)****A6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

Bestimmung des Kompaktionsgrades von Tonsteinen infolge geotektonischer Versenkung mittels „shale-compaction“-Analyse, z.B. über Sonic-Log-Auswertung (abnehmende Porosität mit zunehmender Tiefe ⇒ Zunahme seismischer Geschwindigkeiten) - allerdings aufgrund lithologischer Variabilität hohe Unsicherheit.

Qualität: 1 Quantität: 1

A6.4 Geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung des Deckgebirges sowie eventuell in der Region vorhandener Ausbisse des Wirtsgesteins (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.4) ⇒ Bewertung des geologischen Standortprofils über Stratigraphie (z.B. Absenkprofile, Sedimentationsbeckenanalyse).

Qualität: 3 Quantität: 2

A6.5 Bohrungen**A6.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A6.7 Feldmessungen - Geochemie****A6.8 Feldmessungen - Geomechanik****A6.9 Labor**

Charakterisierung der Versenkungs- und Temperaturgeschichte des Wirtsgesteins mittels Laboruntersuchung an Oberflächenproben bzw. Kernmaterial (z.B. Fluideinschlüsse mit mehreren Phasen; Vitritreflexion, Apatitspaltspuren; organische Geochemie: Reifegrad).

Qualität: 3 Quantität: 2

A6.10 Untertage Geophysik**A6.11 Untertage geol. Kartierung****A6.12 Untertage Bohrungen****A6.13 Untertage In-situ-Messungen****A6.14 Untertage Labor****A7 Rohstoffvorkommen**

Aufgrund des in Deutschland vorliegenden Kenntnisstandes bezüglich des möglichen Vorkommens gewinnungshöffiger Rohstoffe, sind diesbezügliche zusätzliche Erkundungsmaßnahmen nicht erforderlich.

A7.1 Fernerkundung**A7.2 Geophysik (übertägig)****A7.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A7.4 Geol. Kartierung****A7.5 Bohrungen****A7.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

A7.7 Feldmessungen - Geochemie**A7.8 Feldmessungen - Geomechanik****A7.9 Labor****A7.10 Untertage Geophysik****A7.11 Untertage geol. Kartierung****A7.12 Untertage Bohrungen****A7.13 Untertage In-situ-Messungen****A7.14 Untertage Labor*****B Eigenschaften des Wirtsgesteins und der Rahmengesteine am Standort*****B1 Lithologie/Stratigraphie****B1.1 Fernerkundung****B1.2 Geophysik**

Entweder Verdichtung der 2D-reflexionsseismischen Messungen (s. A1.2) oder der 3D-seismischen Messungen bei komplizierteren Lagerungsverhältnissen, um die lithostratigraphischen Verhältnisse detailliert mit hoher Auflösung abzubilden.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2 - 3

B1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Standardbohrlochmessprogramm: Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), magnetische Suszeptibilität, Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur, ergänzt durch hoch aufgelöste Widerstandsmessungen.

VSP-Messungen und Sonic-Log zur Verbesserung der Auswertung seismischer Messungen an der Oberfläche.

Bestimmung des photoelektrischen Faktors als Lithologieindikator.

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.4 Geol. Kartierung**B1.5 Bohrungen**

Kernbohrungen im Wirtsgestein und Rahmengestein (standortspezifische Verdichtung der Datensätze aus A1.5 und A2.5).

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B1.7 Feldmessungen - Geochemie****B1.8 Feldmessungen - Geomechanik****B1.9 Labor**

Untersuchungen an Oberflächenproben und Kernmaterial (Mineralbestand, Geochemie, Isotopenanalyse → Gesteinsklassifizierung, Datierungen) - *standortspezifische Verdichtung der Datensätze aus A1.9.*

Qualität: 3 Quantität: 3

B1.10 Untertage Geophysik**B1.11 Untertage geol. Kartierung**

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung.

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.12 Untertage Bohrungen

Kernbohrungen

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.13 Untertage In-situ-Messungen

In-situ-Messprogramm zur Bestimmung des untertägigen Deformationsverhaltens (Ausbruchsverhalten) für verschiedene stratigraphische Einheiten \Rightarrow z.B. Ausweisung von Homogenbereichen = lithologische Gesteinseinheiten mit vergleichbarem Deformationsverhalten (z.B. berührungslose Vermessung von Konvergenzmarken an der Gebirgskontur entlang einer Strecke, Extensometermessungen für verschiedene stratigraphische Einheiten in Bohrlöchern mit unterschiedlichen Teufenabständen zur Kontur).

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.14 Untertage Labor

Untersuchungen an Gesteinsproben (Mineralbestand, Geochemie, Isotopenanalyse \rightarrow Gesteinsklassifizierung, Datierungen) - lokale Verdichtung und teufenabhängige Ergänzung der unter A1 bis A3 gewonnenen Datensätze.

Qualität: 3 Quantität: 3

B2 Geometrie**B2.1 Fernerkundung****B2.2 Geophysik (übertägig)**

Entweder Verdichtung der 2D-reflexionsseismischen Messungen (s. A1.2) oder der 3D-seismischen Messungen bei komplizierteren Lagerungsverhältnissen zur Bestimmung der Grenzflächen des Wirtsgesteins (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.2).

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2 - 3

B2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Standardbohrlochmessprogramm: Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), magnetische Suszeptibilität, Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur, ergänzt durch hoch aufgelöste Widerstandsmessungen.

VSP und Sonic-Log zur Verbesserung der Auswertung seismischer Messungen an der Oberfläche.

Bestimmung des photoelektrischen Faktors als Lithologieindikator (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.3).

Qualität: 3 Quantität: 2

B2.4 Geol. Kartierung**B2.5 Bohrungen**

Kernbohrungen im Deckgebirge sowie Wirtsgestein und Rahmengestein (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.5).

Qualität: 3 Quantität: 2

B2.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B2.7 Feldmessungen - Geochemie****B2.8 Feldmessungen - Geomechanik****B2.9 Labor****B2.10 Untertage Geophysik****B2.11 Untertage geol. Kartierung**

Visuelle Aufnahme (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.11).

Qualität: 1 Quantität: 2

B2.12 Untertage Bohrungen

Kernbohrungen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.12).

Qualität: 3 Quantität: 2

B2.13 Untertage In-situ-Messungen**B2.14 Untertage Labor****B3 Makro-Struktur****B3.1 Fernerkundung****B3.2 Geophysik (übertägig)**

Entweder Verdichtung der 2D-reflexionsseismischen Messungen (s. A1.2) oder der 3D-seismischen Messungen bei komplizierteren Lagerungsverhältnissen zur Bestimmung der Grenzflächen des Wirtsgesteins (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.2).

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2 - 3

B3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Standardbohrlochmessprogramm: Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), magnetische Suszeptibilität, Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur, ergänzt durch hoch aufgelöste Widerstandsmessungen.

VSP und Sonic-Log zur Verbesserung der Auswertung seismischer Messungen an der Oberfläche.

Bestimmung des photoelektrischen Faktors als Lithologieindikator (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.3).

Akustisches Bohrlochfernsehen und andere bildgebende Verfahren (z.B. optisches Fernsehen, Formation Microlmager).

Qualität: 3 Quantität: 2 - 3

B3.4 Geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung des Deckgebirges sowie eventuell in der Region vorhandener Ausbisse des Wirtsgesteins (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.4) - Prognostizierbarkeit für den untertägigen Wirtsgesteinsbereich eingeschränkt.

Qualität: 2 Quantität: 2

B3.5 Bohrungen

Kernbohrungen im Deckgebirge sowie Wirtsgestein und Rahmengestein (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.5).

Qualität: 3 Quantität: 2

B3.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B3.7 Feldmessungen - Geochemie****B3.8 Feldmessungen - Geomechanik****B3.9 Labor****B3.10 Untertage Geophysik**

Radar- und/oder seismische Messungen von Strecken oder Bohrlöchern aus; ggf. crosshole-Messungen.

Qualität: 3 Quantität: 2 - 3

B3.11 Untertage geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.11).

Qualität: 3 Quantität: 2

B3.12 Untertage Bohrungen

Kernbohrungen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.12).

Qualität: 3 Quantität: 2

B3.13 Untertage In-situ-Messungen

In-situ-Messprogramm zur Bestimmung des untertägigen Deformationsverhaltens vom anstehenden Gebirge und im Bereich von aufgeschlossenen Störungszonen. Neben der Bestimmung von Matrixeigenschaften (vgl. B1.13) sind Teilbewegungen verschiedener Gesteinseinheiten an Störungszonen (z.B. Verschiebungs-(Fissurometer-)messungen an Klüften oder Rissen) zu erfassen. Bezüglich der Auswertung ist zu berücksichtigen, dass neben tektonischen Effekten auch Umwelteinflüsse (z.B. Temperatur-, Feuchtigkeitsänderungen) die Messungen beeinflussen können. Die Messdaten liefern die Basis für Rück- bzw. Prognoserechnungen mit einem daran zu kalibrierenden numerischen Rechenmodell.

Qualität: 3 Quantität: 2

B3.14 Untertage Labor**B4 Mikro-Struktur****B4.1 Fernerkundung****B4.2 Geophysik (übertägig)****B4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

B4.4 Geol. Kartierung**B4.5 Bohrungen****B4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B4.7 Feldmessungen - Geochemie****B4.8 Feldmessungen - Geomechanik****B4.9 Labor**

Charakterisierung des Wirtsgesteins mittels Struktur- und Gefügeuntersuchungen in verschiedenen Maßstäben; mikroskopische Beschreibung des Porenraums und dessen Geometrie sowie von Deformationsstrukturen auch hinsichtlich Transportmechanismen und Fließpfaden.

Qualität: 3 Quantität: 3

B4.10 Untertage Geophysik**B4.11 Untertage geol. Kartierung****B4.12 Untertage Bohrungen****B4.13 Untertage In-situ-Messungen****B4.14 Untertage Labor**

Charakterisierung des Wirtsgesteins mittels Struktur- und Gefügeuntersuchungen in verschiedenen Maßstäben; mikroskopische Beschreibung des Porenraums und dessen Geometrie sowie von Deformationsstrukturen auch hinsichtlich Transportmechanismen und Fließpfaden (wie B4.9).

Qualität: 3 Quantität: 3

B5 In-situ-Spannungsverhältnisse**B5.1 Fernerkundung****B5.2 Geophysik (übertägig)****B5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

FormationMicrolmager und Kaliber-Messungen zur Bestimmung der Hauptspannungsrichtung.

Qualität: 3 Quantität: 2

B5.4 Geol. Kartierung**B5.5 Bohrungen****B5.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B5.7 Feldmessungen - Geochemie****B5.8 Feldmessungen - Geomechanik**

Bestimmung des Spannungszustandes mittels hydraulic fracturing und Packerabdrucktests; Tests sowohl im Deckgebirge als auch im Wirtsgestein bzw. potenziellen Einlagerungshorizont; mehrere Einzelmessungen entlang eines Profils mit definiertem Abstand liefern Messdaten für ein Raummodell.

Qualität: 3 Quantität: 3

B5.9 Labor

Spannungsbestimmungen an Kernmaterial im Labor über Kernrelaxation bzw. Rekompaktion von Spannungsrissen (z.B. RACOS-Verfahren – für Details s. BRAUN et al. 1999); Adaption der Ergebnisse aus Feldmessungen und Laboruntersuchungen in ein geomechanisch / numerisches Modell.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B5.10 Untertage Geophysik

Nach bzw. während des Auffahrens der Strecken Errichtung eines mikroseismischen Netzwerkes untertage zur Erfassung spannungsbedingter Ereignisse → Lokalisierung von Spannungskonzentrationen mit bruchhaften Ereignissen - infolge der hohen Dämpfung (d.h. hohe Gesteinsporosität zumindest mit Teilsättigung) und der vorliegenden seismischen Anisotropie ist die Reichweite und Ortungsgenauigkeit mikroseismischer Ereignisse in Tonsteinen eingeschränkt.

Qualität: 1 Quantität: 1

B5.11 Untertage geol. Kartierung**B5.12 Untertage Bohrungen****B5.13 Untertage In-situ-Messungen**

Sondierungen in flachen Bohrungen - Teufe bis 20 m (z.B. hydraulic fracturing; Schlitzsonde); Verformungs- bzw. Kraftmessungen an Ausbaukomponenten z.B. über Druckkissen oder Extensometer - mehrere Einzelmessungen entlang eines Profils mit definiertem Abstand liefern Messdaten für ein Raummodell.

Qualität: 3 Quantität: 3

B5.14 Untertage Labor

Spannungsbestimmungen an Kernmaterial im Labor über Kernrelaxation bzw. Rekompaktion von Spannungsrissen (z.B. RACOS-Verfahren); Adaption der Ergebnisse aus Feldmessungen und Laboruntersuchungen in ein geomechanisch / numerisches Modell (Methoden wie B5.9, aber günstigere Messbedingungen).

Qualität: 3 Quantität: 2

B6 Mineralogie**B6.1 Fernerkundung****B6.2 Geophysik (übertägig)****B6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

Gammastrahlungsmessungen zur Bestimmung der Tongehalte; ergänzende hoch auflösende Widerstandsmessungen.

Bestimmung des photoelektrischen Faktors zur Ermittlung des Quarz- und Kalkanteils.

Qualität: 3 Quantität: 2

B6.4 Geol. Kartierung**B6.5 Bohrungen****B6.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B6.7 Feldmessungen - Geochemie****B6.8 Feldmessungen - Geomechanik****B6.9 Labor**

Charakterisierung des Wirtsgesteins zur mineralogischen Zusammensetzung, z.B. Quarz-, Tonmineral-, Karbonatgehalt und Akzessorien sowie Verteilung der Komponenten; zusätzlich Bestimmung der Mineralogie von Klüftfüllungen und Störungsmineralisationen (hinsichtlich Stofftransport, Lösung, Fällung); an Kernmaterial aber auch an Bohrklein möglich; geeignete qualitative und quantitative Methoden sind mineraloptische Untersuchungen (Dickschliff-, Dünnschliff-, Auflichtmikroskopie) und Röntgendiffraktometrie.

Qualität: 3 Quantität: 2

B6.10 Untertage Geophysik**B6.11 Untertage geol. Kartierung****B6.12 Untertage Bohrungen****B6.13 Untertage In-situ-Messungen****B6.14 Untertage Labor**

Vervollständigung der Datensätze aus B6.9.

Qualität: 3 Quantität: 3

B7 Petrophysikalische Eigenschaften**B7a Gesteinsmechanik****B7a.1 Fernerkundung****B7a.2 Geophysik (übertägig)****B7a.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

FormationMicrolmager und Kaliber-Messungen zur Bestimmung der Hauptspannungsrichtung; *Sonic-Log* zur Bestimmung der Geschwindigkeiten von Kompressions- und Scherwellen.

Qualität: 3 Quantität: 2

B7a.4 Geol. Kartierung**B7a.5 Bohrungen****B7a.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7a.7 Feldmessungen - Geochemie****B7a.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7a.9 Labor**

Durchführung von geotechnischen Laborversuchen in Form von Triaxial-, Uniaxial-, Spaltzug- und Scherversuchen an geeignetem Kernmaterial zur Bestimmung von gesteinsmechanischen Parametern von Matrix- und Trennflächeneigenschaften (z.B. Festigkeit, MOHR-COULOMB-Parameter); das Kernmaterial sollte sowohl aus dem Einlagerungshorizont im Wirtsgestein als auch aus den Deckgebirgsschichten stammen.

Bestimmung von gesteinsphysikalischen Parametern wie Dichte und Ultraschallgeschwindigkeiten sowie daraus abgeleiteter dynamisch elastischer Eigenschaften zur Charakterisierung der Wirtsgesteinseigenschaften an Kernmaterial aus definierten Teufenbereichen bzw. an Kernmaterial mit Materialwechsel / Schichtgrenzen.

Erarbeitung eines geomechanischen 3D-Modells.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B7a.10 Untertage Geophysik**B7a.11 Untertage geol. Kartierung****B7a.12 Untertage Bohrungen****B7a.13 Untertage In-situ-Messungen**

In-situ-Messprogramm zur Bestimmung des untertägigen Deformationsverhaltens (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B3.13).

Qualität: 3 Quantität: 2

B7a.14 Untertage Labor

Vervollständigung der Datensätze aus B7a.9: Präzisierung des geomechanischen 3D-Modells.

Qualität: 3 Quantität: 3

B7b Hydraulisch (z.B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)**B7b.1 Fernerkundung****B7b.2 Geophysik (übertägig)****B7b.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

Widerstandsmessungen, Gamma-Gamma-Log, Neutron-Messungen, Sonic-Log als Indikatoren für die Porosität.

Nuclear Magnetic Resonance (NMR) zur Bestimmung freien Wassers.

Qualität: 3 Quantität: 2

B7b.4 Geol. Kartierung**B7b.5 Bohrungen****B7b.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7b.7 Feldmessungen - Geochemie****B7b.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7b.9 Labor**

Bestimmung der Porosität des Wirtsgesteins mittels laboranalytischer Methoden (Pyknometer-Porosität, Wasserverlust-Porosität, Diffusions-Porosität, geochemische Porosität); ebenso Bestimmung von Sättigung sowie Permeabilität des Wirtsgesteins; Maßstab: cm- bis dm-Bereich.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B7b.10 Untertage Geophysik**B7b.11 Untertage geol. Kartierung****B7b.12 Untertage Bohrungen****B7b.13 Untertage In-situ-Messungen**

Kleinmaßstäbliche Permeabilitätsmessungen mittels Bohrlochsonden bzw. Oberflächenpackern.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B7b.14 Untertage Labor

Vervollständigung der Datensätze aus B7b.9 - grundsätzlich günstigere Aufschlussverhältnisse sowie schonendere Probengewinnung.

Qualität: 3 Quantität: 3

B7c Diffusion**B7c.1 Fernerkundung****B7c.2 Geophysik (übertägig)****B7c.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7c.4 Geol. Kartierung****B7c.5 Bohrungen**

B7c.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B7c.7 Feldmessungen - Geochemie****B7c.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7c.9 Labor**

Lithologie-spezifische Bestimmung von Diffusionsparametern der Gesteinsmatrix des Wirtsgesteins an Kernproben im cm- bzw. dm-Maßstab (Langzeituntersuchungen).

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1 - 2

B7c.10 Untertage Geophysik**B7c.11 Untertage geol. Kartierung****B7c.12 Untertage Bohrungen****B7c.13 Untertage In-situ-Messungen**

Langzeitmessungen in untertägigen Bohrlöchern bzw. komplexen Großversuchsanordnungen.

Qualität: 3 Quantität: 1 - 2

B7c.14 Untertage Labor

Vervollständigung der Datensätze aus B7c.9 (Vorteil: bessere Probenahmemöglichkeit).

Qualität: 3 Quantität: 2

B7d Thermisch**B7d.1 Fernerkundung****B7d.2 Geophysik (übertägig)****B7d.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7d.4 Geol. Kartierung****B7d.5 Bohrungen****B7d.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7d.7 Feldmessungen - Geochemie****B7d.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7d.9 Labor**

Bestimmung von Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität und Wärmeausdehnung an Kernproben im Labor.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 3

B7d.10 Untertage Geophysik**B7d.11 Untertage geol. Kartierung****B7d.12 Untertage Bohrungen****B7d.13 Untertage In-situ-Messungen**

Aufheizversuche in Bohrlöchern bzw. großskalige Erhitzeranordnungen zur Simulation der Einlagerung von wärmeproduzierenden Abfallgebinden.

Qualität: 3 Quantität: 1

B7d.14 Untertage Labor

Vervollständigung der Datensätze aus B7d.9 (Vorteil: bessere Probenahmemöglichkeit).

Qualität: 3 Quantität: 3

B7e THMC-Kopplung**B7e.1 Fernerkundung****B7e.2 Geophysik (übertägig)****B7e.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7e.4 Geol. Kartierung****B7e.5 Bohrungen****B7e.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7e.7 Feldmessungen - Geochemie****B7e.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7e.9 Labor**

Laboruntersuchungen zur Bestimmung von THMC-Eigenschaften unter definierten Randbedingungen (Nachteil: aufgelockertes Kernmaterial sowie skalenabhängige Repräsentativität).

Anmerkung: Aufgrund der wechselseitigen Überlagerung der verschiedenen Einflussparameter (z.B. Spannungsfeld, Porendruck, Feuchtigkeit, Sättigung, Temperatur und geochemisches Milieu) auf den zu charakterisierenden Prozess bzw. die daraus resultierende Eigenschaft, z.B. mechanische Festigkeit oder hydraulische Durchlässigkeit, gibt es keine experimentellen Standarduntersuchungsverfahren. Hinzu kommt, dass bestimmte Prozesse, z.B. poroelastische Effekte, wenn sie elastisch bedingt sind, bei Änderung der Randbedingungen spontane Effekte bewirken können (z.B. Zunahme des Porendrucks bei isostatischer Belastung einer wassergesättigten Probe) oder z.B. bei chemischen Reaktionen extrem zeitabhängig sind. In der Konsequenz handelt es sich bei diesen Untersuchungen in erster Linie um generische Untersuchungen zum grundsätzlichen Verständnis der Effekte, wobei eine standortspezifische Umsetzung der Ergebnisse, z.B. für die Bewertung untertägiger Messungen, nur über komplexe numerische Modellrechnungen erfolgen kann (vgl. B7e.13).

Aufgrund der daraus resultierenden Komplexität werden aktuell zumeist an Kernproben ($\varnothing = 10$ bis 40 cm) der zu charakterisierenden Gesteinsformation unter einer definierten Einspannung einzelne Randbedingungen, wie z.B. der Porendruck oder geochemische Zustandsbedingungen, zur Initiierung von Fällungs- oder Lösungsreaktionen kontrolliert geändert und die integral gemessenen Eigenschaften (Festigkeit, Permeabilität) für verschiedene Bedingungen bestimmt. Auf Basis dieser experimentellen Untersuchungen werden empirische Zusammenhänge abgeleitet, die eine Basis für numerische Modellrechnungen liefern. Im Rahmen verschiedener EU-Projekte werden aktuell die vorhandenen numerischen Werkzeuge (z.B. TOUGH2) und Rechenansätze für verschiedene Gesteine (Theresa - Salzgestein; Timodaz - Tonstein) verglichen und bezüglich ihrer Eignung bewertet.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B7e.10 Untertage Geophysik**B7e.11 Untertage geol. Kartierung****B7e.12 Untertage Bohrungen****B7e.13 Untertage In-situ-Messungen**

Großskalige In-situ-Versuche zur Bestimmung von THMC-Eigenschaften unter repräsentativen Randbedingungen (Einbeziehung der Datensätze aus B7d.13): In Ergänzung der vorliegenden Labordatensätze sind insbesondere zur Bewertung möglicher Skaleneffekte langjährige Großversuche durchzuführen. Hierzu gehören z.B. Erhitzerversuche oder Testen von Abschlussbauwerken, bei denen unter realitätsnahen Bedingungen mit Änderung der Randparameter (z.B. Temperaturerhöhung oder hydraulische Belastung) eine Vielzahl von Messparametern (z.B. mechanische Dehnung, Temperatur, Feuchtigkeit, Durchlässigkeit, geochemische Kenngrößen) dreidimensional im Messfeld verteilt über einen längeren Zeitraum gemessen werden. Diese umfangreiche Datenbasis ist unerlässlich für eine

Kalibrierung der numerischen Modellrechnungen, die eine Prognose des Einflusses von THMC-Prozessen auf die langzeitliche mechanische und hydraulische Integrität der geologischen Barriere während der Betriebsphase und nach Verschluss des Endlagers ermöglichen sollen.

Anmerkung: Aufgrund der Komplexität von THMC-Prozessen zielen die Untersuchungen nicht auf ein vollständiges, quantitatives Verständnis dieser Prozesse ab; mit den Untersuchungen muss zumindest die Größenordnung der zu erwartenden Effekte infolge von Auffahrung und Betrieb eines Endlagers aufgrund der daraus resultierenden veränderten Randbedingungen für den Nachweis der Langzeitsicherheit abschätz- und bewertbar sein.

Qualität: 3 Quantität: 1 - 2

B7e.14 Untertage Labor

Vervollständigung der Datenbasis aus B7e.9 (Im Gegensatz zur Bohrkerngewinnung aus tiefen Bohrungen können hier unter sehr viel günstigeren Bedingungen über Großbohrlöcher bzw. eine Großblockentnahme schonender und damit weniger sekundär durch Auflockerung beeinflusste Proben gewonnen werden.)

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B7f Chemische Eigenschaften (z.B. Oxidation, Adsorption)

B7f.1 Fernerkundung

B7f.2 Geophysik (übertägig)

B7f.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7f.4 Geol. Kartierung

B7f.5 Bohrungen

B7f.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7f.7 Feldmessungen - Geochemie

B7f.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7f.9 Labor

Lithologie-spezifische Bestimmung von chemischen Parametern der Gesteinsmatrix des Wirtsgesteins bzw. des Deckgebirges an Kernproben im cm- bzw. dm-Maßstab (Langzeituntersuchungen).

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1 - 2

B7f.10 Untertage Geophysik

B7f.11 Untertage geol. Kartierung

B7f.12 Untertage Bohrungen

B7f.13 Untertage In-situ-Messungen

Großskalige In-situ-Versuche unter repräsentativen Randbedingungen (Einbeziehung der Datensätze aus B7d.13).

Qualität: 3 Quantität: 1

B7f.14 Untertage Labor

Lithologie-spezifische Bestimmung von chemischen Parametern der Gesteinsmatrix des Wirtsgesteins an Kernproben im cm- bzw. dm-Maßstab (Langzeituntersuchungen).

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1 - 2

C Hydrogeologie des Wirtsgesteins und der Rahmengesteine (Feldmaßstab)**C1 Hydraulisch wirksame Einheiten****C1.1 Fernerkundung****C1.2 Geophysik (übertägig)****C1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

Standardbohrlochmessprogramm: Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), magnetische Suszeptibilität, Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur.

Sonic-Log-Messungen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.3).

Qualität: 2 Quantität: 2

C1.4 Geol. Kartierung**C1.5 Bohrungen**

Kernbohrungen im Deckgebirge sowie Wirtsgestein und Rahmengestein (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.5).

Qualität: 3 Quantität: 2

C1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil.

Qualität: 3 Quantität: 1

C1.7 Feldmessungen - Geochemie**C1.8 Feldmessungen - Geomechanik****C1.9 Labor****C1.10 Untertage Geophysik****C1.11 Untertage geol. Kartierung**

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.11).

Qualität: 3 Quantität: 2

C1.12 Untertage Bohrungen

Kernbohrungen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.12).

Qualität: 3 Quantität: 2

C1.13 Untertage In-situ-Messungen

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil.

Qualität: 3 Quantität: 1

C1.14 Untertage Labor

C2 Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein**C2.1 Fernerkundung****C2.2 Geophysik (überflächig)****C2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C2.4 Geol. Kartierung****C2.5 Bohrungen****C2.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.6).

Qualität: 1 Quantität: 1

Multi-Packer-Beobachtungen

Qualität: 3 Quantität: 1

C2.7 Feldmessungen - Geochemie**C2.8 Feldmessungen - Geomechanik****C2.9 Labor****C2.10 Untertage Geophysik****C2.11 Untertage geol. Kartierung****C2.12 Untertage Bohrungen****C2.13 Untertage In-situ-Messungen**

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.13).

Qualität: 1 Quantität: 1

Multi-Packer-Beobachtungen

Qualität: 3 Quantität: 1

C2.14 Untertage Labor**C3 Fließ- und Speicherparameter****C3.1 Fernerkundung****C3.2 Geophysik (überflächig)****C3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C3.4 Geol. Kartierung****C3.5 Bohrungen****C3.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.6).

Qualität: 3 Quantität: 1

C3.7 Feldmessungen - Geochemie**C3.8 Feldmessungen - Geomechanik****C3.9 Labor****C3.10 Untertage Geophysik****C3.11 Untertage geol. Kartierung****C3.12 Untertage Bohrungen****C3.13 Untertage In-situ-Messungen**

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.13)

Qualität: 3 Quantität: 1

C3.14 Untertage Labor**C4 Zwei-Phasenfluss-Parameter****C4.1 Fernerkundung****C4.2 Geophysik (übertägig)****C4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C4.4 Geol. Kartierung****C4.5 Bohrungen****C4.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.6).

Qualität: 3 Quantität: 1

C4.7 Feldmessungen - Geochemie**C4.8 Feldmessungen - Geomechanik****C4.9 Labor****C4.10 Untertage Geophysik****C4.11 Untertage geol. Kartierung****C4.12 Untertage Bohrungen****C4.13 Untertage In-situ-Messungen**

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.13).

Qualität: 3 Quantität: 1

C4.14 Untertage Labor**D Hydrochemie****D1 Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)****D1.1 Fernerkundung****D1.2 Geophysik (übertägig)**

D1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**D1.4 Geol. Kartierung****D1.5 Bohrungen****D1.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D1.7 Feldmessungen - Geochemie****D1.8 Feldmessungen - Geomechanik****D1.9 Labor**

Analyse stabiler Isotopen ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ und $^2\text{H}/^1\text{H}$) in Wasserproben vom Wirtsgestein (diffusiver Austausch oder Zusammendrücken von Kernen) sowie vom Rahmengestein.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1 - 2

Analyse von Tritium (^3H) in allen Wasserproben, um Kontaminationen sowie das Eindringen jüngerer Wässer ins Deckgebirge zu erkennen.

Qualität: 2 Quantität: 1

Analyse von ^{14}C sowie stabiler Kohlenstoffisotopen ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) in ausgewählten Wasserproben vom Rahmengestein mit geringer Kontamination (< 2%).

Qualität: 3 Quantität: 2

Analyse von ^{36}Cl in Wasserproben von der Endlagerteufe im Wirtsgestein (diffusiver Austausch oder Zusammendrücken von Kernen) sowie vom unteren Teil des Deckgebirges, um die Vermischung des Grundwassers sowie die Residenzzeiten zu ermitteln. (Erforderlich sind auch Informationen zum U- sowie Th-Gehalt des Gesteins, um die natürliche Entstehung von ^{36}Cl zu berechnen.)

Qualität: 3 Quantität: 3

Analyse von Helium (^4He) gelöst in Wasserproben, extrahiert durch Vakuum von Proben des Wirtsgesteins sowie vom Rahmengestein.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

D1.10 Untertage Geophysik**D1.11 Untertage geol. Kartierung****D1.12 Untertage Bohrungen****D1.13 Untertage In-situ-Messungen****D1.14 Untertage Labor**

Analyse stabiler Isotopen ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ und $^2\text{H}/^1\text{H}$) in Wasserproben vom Wirtsgestein (diffusiver Austausch oder Zusammendrücken von Kernen bzw. von abgepackerten nach oben gerichteten Entwässerungsbohrungen).

Qualität: 3 Quantität: 3

Analyse von Helium (^4He) gelöst in Wasserproben, extrahiert durch Vakuum von Proben des Wirtsgesteins

Qualität: 3 Quantität: 3

Analyse von Chlor 36 (^{36}Cl) in Wasserproben von nach oben gerichteten abgepackerten Entwässerungsbohrungen.

Qualität: 3 Quantität: 3

(eventuell zusätzliche Analysen (^3H , ^{14}C , $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) von Zuflusswässern)

D2 Porenwasserchemismus**D2.1 Fernerkundung**

D2.2 Geophysik (übertägig)**D2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D2.4 Geol. Kartierung****D2.5 Bohrungen****D2.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D2.7 Feldmessungen - Geochemie**

Bestimmung der In-situ-Werte (pH, Eh, elektrische Leitfähigkeit, gelöster Sauerstoff, Temperatur) unter Anwendung einer Bohrlochsonde (z.B. SKB CHEMMAC-Probe oder JAEA Geochemical Probe) oder von Durchflussszellen für von abgepackerten Intervallen im Rahmengestein abgepumptes Wasser am Bohrlochkopf.

Qualität: 3 Quantität: 2

Analyse von redoxempfindlichen gelösten Stoffen (Fe^{2+} , Fe^{3+} und HS^-) kurz nach der Beprobung; Beprobung und Konservierung am Bohrlochkopf des von einem abgepackerten Intervall im Rahmengestein abgepumpten Wassers.

Qualität: 3 Quantität: 2

D2.8 Feldmessungen - Geomechanik**D2.9 Labor**

Kernlaugung zur Bestimmung von Cl- sowie Br- (eventuell auch $^{37}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$) im Porenwasser des Wirtsgesteins; Analyse von Wasser, extrahiert durch Zusammendrücken des Kerns (falls möglich) zur Bestimmung gelöster Hauptstoffe (EC, Na, K, Ca, Mg, Sr, Cl, SO_4 , HCO_3 , Br).

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

Analyse von Wasserproben aus dem Rahmengestein zur Bestimmung gelöster Haupt- sowie Nebensubstanzen, pH, Eh, TDS, eventuell auch gelöster Gase (Beprobung unter Anwendung eines Druckbehälters).

Qualität: 3 Quantität: 1 - 2

Mikrobiologische Analyse ausgewählter dafür konservierter Proben.

Qualität: 3 Quantität: 2

Ausgewählte dafür konservierte Proben werden für Isotope von U, Th, Ra sowie Rn analysiert.

Qualität: 3 Quantität: 2

D2.10 Untertage Geophysik**D2.11 Untertage geol. Kartierung****D2.12 Untertage Bohrungen****D2.13 Untertage In-situ-Messungen****D2.14 Untertage Labor**

Analyse von Wasserproben von nach oben gerichteten abgepackerten Entwässerungsbohrungen für gelöste Haupt- und Nebensubstanzen sowie elektrische Leitfähigkeit und pH.

Qualität: 1 - 2 Quantität: 1 - 2

Kernlaugung zur Bestimmung von Cl- sowie Br- (eventuell auch $^{37}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$) im Porenwasser des Wirtsgesteins; Analyse von Wasser extrahiert durch Zusammendrücken des Kerns (falls möglich) zur Bestimmung gelöster Hauptstoffe.

Qualität: 2 Quantität: 2 - 3

D3 Transporteigenschaften**D3.1 Fernerkundung****D3.2 Geophysik (übertägig)****D3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D3.4 Geol. Kartierung****D3.5 Bohrungen****D3.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

Tracertest mit unbekannten Randbedingungen.

Qualität: 1 Quantität: 2

D3.7 Feldmessungen - Geochemie**D3.8 Feldmessungen - Geomechanik****D3.9 Labor**

Beschreibung der Geometrie des Porenraumes, welche letztlich Transportprozesse wie Advektion und Diffusion bestimmt; Charakterisierung der Porosität des Wirtsgesteins (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B7b.9).

Qualität: 3 Quantität: 2

Bestimmung der Verteilungskoeffizienten (K_d oder R_d) für relevante Radionuklide bzw. analoge Elemente an Kernproben des Wirtsgesteins.

Qualität: 2 Quantität: 2

D3.10 Untertage Geophysik**D3.11 Untertage geol. Kartierung****D3.12 Untertage Bohrungen****D3.13 Untertage In-situ-Messungen**

Tracertest: Randbedingungen bekannt, großer Maßstab.

Qualität: 3 Quantität: 2

D3.14 Untertage Labor

Bestimmung der Verteilungskoeffizienten (K_d oder R_d) für relevante Radionuklide oder analoge Elemente an untertägigen Proben des Wirtsgesteins.

Qualität: 3 Quantität: 3

D4 Kolloide usw.**D4.1 Fernerkundung****D4.2 Geophysik (übertägig)****D4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D4.4 Geol. Kartierung****D4.5 Bohrungen****D4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D4.7 Feldmessungen - Geochemie****D4.8 Feldmessungen - Geomechanik**

D4.9 Labor

Teilchen werden getrennt in Korngrößengruppen zwischen 1 Nanometer und 1 Mikrometer durch Ultrafiltration während der Entnahme von Wasserproben mit geringer Kontamination oder anderen Beeinflussungen gezählt sowie bzgl. ihrer mineralischen sowie chemischen Zusammensetzung analysiert; absorbierte gelöste Stoffe werden nach Laugung analysiert.

Qualität: 3 Quantität: 3

D4.10 Untertage Geophysik**D4.11 Untertage geol. Kartierung****D4.12 Untertage Bohrungen****D4.13 Untertage In-situ-Messungen****D4.14 Untertage Labor**

Ultrafiltration von untertägigen Wasserproben; Teilchen werden gezählt sowie bzgl. ihrer mineralischen sowie chemischen Zusammensetzung analysiert; absorbierte gelöste Stoffe werden nach Laugung analysiert; falls ausreichende Mengen erfasst werden, Bestimmung der Verteilungskoeffizienten (K_d).

Qualität: 3 Quantität: 2

Literatur

BRAUN, R., JAHNS, E. & STROMEYER, D. (1999): Ermittlung von Gebirgsstrukturen und -belastungen. *Erdöl Erdgas Kohle*, Vol 115, No.4, S. 191-197.

Tone/Tonsteine		Erkundungs- methoden: 1-9 übertägig 10-14 untertägig	Fernerkundung	Geophysik (übertägig)	Geophysik (im Bohrloch)	Geol. Kartierung	Bohrungen	Feldmessungen - Geohydraulik	Feldmessungen - Geochemie	Feldmessungen - Geomechanik	Labor	Geophysik	geologische Kartierung	Bohrungen	In-situ- Messungen	Labor
Inhalte der Themenkomplexe		Bezeichnungen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Regionale Geologie (20 km*20 km)																
Wirtsgestein / Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)	A1															
Stratigraphie	A2															
Strukturgeologie und Tektonik (Störungsmuster, Faltung)	A3															
Regionales Spannungsfeld	A4															
Temperatur und Wärmeleitfähigkeit	A5															
Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z.B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)	A6															
Rohstoffvorkommen	A7															
Eigenschaften des Wirtsgesteins und der Rahmengesteine am Standort																
Lithologie	B1															
Geometrie (Tiefenlage, Ausdehnung)	B2															
Makro-Struktur (Großgefüge: Störungen / Faltungen / Deformationen / Klüfte)	B3															
Mikro-Struktur (Korngefüge / Porenstruktur)	B4															
In-situ-Spannungsverhältnisse	B5															
Mineralogie	B6															
Petrophysikalische Eigenschaften (Probenmaßstab):																
Gesteinsmechanik (z.B. Festigkeit, Kriechen)	B7a															
Hydraulik (z.B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)	B7b															
Diffusion	B7c															
Thermik	B7d															
THMC-Kopplung	B7e															
Chemismus (z.B. Oxidation, Adsorption)	B7f															
Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)																
Hydraulisch wirksame Einheiten	C1															
Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein	C2															
Fließ- und Speicherparameter	C3															
Zwei-Phasenfluss-Parameter	C4															
Hydrochemie																
Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)	D1															
Porenwasserchemismus	D2															
Transporteigenschaften	D3															
Kolloide usw.	D4															
			Erkundungsaktivität													

Anhang 12

Dokumentation der abgeleiteten Erkundung -
Kristallin mit geringer Bedeckung

A Regionale Geologie (20 km×20 km)

Zielstellung der Erkundung - ausgehend vom Kenntnisstand nach Auswertung der regional vorhandenen Datenlage:

- Bestätigung der im AkEnd-Verfahrensschritt 3 angenommenen lateralen Ausdehnung des Wirtsgesteins bzw. des Deckgebirges
- Bestätigung der im AkEnd-Verfahrensschritt 3 angenommenen Lage von geologischen Merkmalen wie Großstörungen, die die zur Erkundung ausgewählte Standortregion (< 20 km×20 km) einschränken

Hinweis: Die gezielte Bereitstellung standortspezifischer Daten für die Langzeitsicherheitsanalyse bzw. für die Untersuchung der bautechnischen Machbarkeit der Hohlraumerstellung unter den standortspezifischen Gegebenheiten erfolgt hauptsächlich durch die Erkundungen der Inhalte der Themenkomplexe B, C sowie D.

A1 Wirtsgestein/Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)**A1.1 Fernerkundung****A1.2 Geophysik**

Aufgrund der geringen Lockergesteinsbedeckung können zur Abgrenzung des Wirtsgesteins und des Rahmengesteins sowie zur Erkundung von Materialwechseln aero-geophysikalische Verfahren eingesetzt werden. Hierbei sollten magnetische, elektromagnetische (Multi-Frequenz-EM, VLF) und radiometrische Verfahren angewandt werden. Die elektromagnetischen Messungen können über eine quantitative Interpretation Aussagen zur Mächtigkeit der Lockerbedeckung liefern.

Qualität: 3 Quantität: 3

Zusätzlich flächenhafte Erkundung der lateralen Ausdehnung des Wirtsgesteins und von Materialwechseln mit Gravimetrie; Punktabstand ca. 500 m; quantitative Interpretation über Modellrechnungen.

Qualität: 3 Quantität: 2

2D-seismische Messungen zur Bestimmung der Festgesteinsoberfläche (Refraktionsseismik). Verlauf und Anzahl (d.h. Profilabstand) der seismischen Profile werden anhand der Ergebnisse der flächenhaften Erkundung festgelegt.

Qualität: 2 Quantität: 2

Für alle vorgeschlagenen Verfahren gilt: vor der Durchführung neuer Messungen ist zu prüfen, ob bereits entsprechende Daten im Untersuchungsgebiet vorliegen.

A1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Nach der geophysikalischen Oberflächenerkundung gezielter Ansatz von Bohrungen und Einsatz des Standardprogramms der Bohrlochmessung (Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), magnetische Suszeptibilität, Akustiklog, Kaliber, Neigung).

Qualität: 2 Quantität: 2

A1.4 Geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung des Deckgebirges sowie in der Region vorhandener Ausbisse des Kristallins.

Qualität: 3 Quantität: 2

A1.5 Bohrungen

Kernbohrungen im Deckgebirge sowie im Kristallin.

Qualität: 3 Quantität: 1

A1.6 Feldmessungen - Geohydraulik**A1.7 Feldmessungen - Geochemie****A1.8 Feldmessungen - Geomechanik****A1.9 Labor**

Untersuchungen an Oberflächenproben und Kernmaterial (Mineralbestand, Geochemie, Isotopenanalyse → Gesteinsklassifizierung, Datierungen).

Qualität: 3 Quantität: 2

A1.10 Untertage Geophysik**A1.11 Untertage geol. Kartierung****A1.12 Untertage Bohrungen****A1.13 Untertage In-situ-Messungen****A1.14 Untertage Labor****A2 Stratigraphie****A2.1 Fernerkundung****A2.2 Geophysik (übertägig)****A2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A2.4 Geol. Kartierung**

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung des Deckgebirges sowie in der Region vorhandener Ausbisse des Kristallins (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.4).

Qualität: 3 Quantität: 2

A2.5 Bohrungen**A2.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A2.7 Feldmessungen - Geochemie****A2.8 Feldmessungen - Geomechanik****A2.9 Labor**

Untersuchungen an Oberflächenproben und Kernmaterial (Mineralbestand, Geochemie, Isotopenanalyse → Gesteinsklassifizierung, Datierungen), (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.9).

Qualität: 3 Quantität: 2

A2.10 Untertage Geophysik**A2.11 Untertage geol. Kartierung****A2.12 Untertage Bohrungen****A2.13 Untertage In-situ-Messungen****A2.14 Untertage Labor****A3 Strukturgeologie und Tektonik****A3.1 Fernerkundung**

A3.2 Geophysik (übertägig)

Aufgrund der geringen Lockergesteinsbedeckung können zur flächenhaften Erkundung von Störungen und Kluftzonen aero-geophysikalische Verfahren eingesetzt werden, speziell magnetische, elektromagnetische (Multi-Frequenz-EM, VLF) und radiometrische Verfahren (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.2).

Qualität: 3 Quantität: 3

Zusätzlich flächenhafte Erkundung von Störungen und Kluftzonen mit Gravimetrie; Punktabstand ca. 500 m; quantitative Interpretation über Modellrechnungen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.2)

Qualität: 3 Quantität: 2

2D-seismische Messungen zur Erkundung von Störungen und Kluftzonen (Reflexions- und/oder Refraktionsseismik) sowie von Grenzflächen; Verlauf und Anzahl (d.h. Profilabstand) der seismischen Profile werden anhand der Ergebnisse der flächenhaften Erkundung festgelegt (teilweise können die gleichen Datensätze wie bei A1.2 verwendet werden).

Qualität: 2 Quantität: 2

Für alle vorgeschlagenen Verfahren gilt: vor der Durchführung neuer Messungen ist zu prüfen, ob bereits entsprechende Daten im Untersuchungsgebiet vorliegen.

A3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Nach der geophysikalischen Oberflächenerkundung gezielter Ansatz von Bohrungen und Einsatz des Standardprogramms der Bohrlochmessung (Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), magnetische Suszeptibilität, Akustiklog, Kaliber, Neigung), (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.3).

Qualität: 2 Quantität: 2

A3.4 Geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung des Deckgebirges sowie in der Region vorhandener Ausbisse des Kristallins (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.4).

Qualität: 3 Quantität: 2

A3.5 Bohrungen**A3.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A3.7 Feldmessungen - Geochemie****A3.8 Feldmessungen - Geomechanik****A3.9 Labor**

Untersuchungen an Oberflächenproben und Kernmaterial (Texturanalyse z.B. U-Tisch, Neutronentextur).

Qualität: 3 Quantität: 2

A3.10 Untertage Geophysik**A3.11 Untertage geol. Kartierung****A3.12 Untertage Bohrungen****A3.13 Untertage In-situ-Messungen****A3.14 Untertage Labor**

A4 Regionales Spannungsfeld

A4.1 Fernerkundung

A4.2 Geophysik (übertägig)

A4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A4.4 Geol. Kartierung

A4.5 Bohrungen

A4.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A4.7 Feldmessungen - Geochemie

A4.8 Feldmessungen - Geomechanik

A4.9 Labor

A4.10 Untertage Geophysik

A4.11 Untertage geol. Kartierung

A4.12 Untertage Bohrungen

A4.13 Untertage In-situ-Messungen

A4.14 Untertage Labor

A5 Temperatur und Wärmeleitfähigkeit

A5.1 Fernerkundung

A5.2 Geophysik (übertägig)

A5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Temperaturmessungen in tiefen Bohrungen zur Bewertung des Temperaturgradienten im Kristallin.

Qualität: 3 Quantität: 2

A5.4 Geol. Kartierung

A5.5 Bohrungen

A5.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A5.7 Feldmessungen - Geochemie

A5.8 Feldmessungen - Geomechanik

A5.9 Labor

A5.10 Untertage Geophysik

A5.11 Untertage geol. Kartierung

A5.12 Untertage Bohrungen

A5.13 Untertage In-situ-Messungen

A5.14 Untertage Labor

A6 Geodynamik/Entwicklungsgeschichte (z.B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)

A6.1 Fernerkundung

A6.2 Geophysik (übertägig)

A6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A6.4 Geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung des Deckgebirges sowie in der Region vorhandener Ausbisse des Kristallins (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.4).

Qualität: 3 Quantität: 2

A6.5 Bohrungen**A6.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A6.7 Feldmessungen - Geochemie****A6.8 Feldmessungen - Geomechanik****A6.9 Labor****A6.10 Untertage Geophysik****A6.11 Untertage geol. Kartierung****A6.12 Untertage Bohrungen****A6.13 Untertage In-situ-Messungen****A6.14 Untertage Labor****A7 Rohstoffvorkommen**

Aufgrund des in Deutschland vorliegenden Kenntnisstandes bezüglich des möglichen Vorkommens gewinnungshöffiger Rohstoffe, sind diesbezügliche zusätzliche Erkundungsmaßnahmen nicht erforderlich.

A7.1 Fernerkundung**A7.2 Geophysik (übertägig)****A7.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A7.4 Geol. Kartierung****A7.5 Bohrungen****A7.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A7.7 Feldmessungen - Geochemie****A7.8 Feldmessungen - Geomechanik****A7.9 Labor****A7.10 Untertage Geophysik****A7.11 Untertage geol. Kartierung****A7.12 Untertage Bohrungen****A7.13 Untertage In-situ-Messungen****A7.14 Untertage Labor*****B Eigenschaften des Wirtsgesteins und der Rahmengesteine am Standort*****B1 Lithologie/Stratigraphie****B1.1 Fernerkundung**

B1.2 Geophysik

Aufgrund der geringen Lockergesteinsbedeckung können zur Abgrenzung des Wirtsgesteins und des Rahmengesteins sowie zur Erkundung von Materialwechseln und damit zur Bestimmung der räumlichen Homogenität des Wirtsgesteins aero-geophysikalische Verfahren eingesetzt werden. Hierbei sollten magnetische, elektromagnetische (Multi-Frequenz-EM, VLF) und radiometrische Verfahren angewandt werden. Die elektromagnetischen Messungen können über eine quantitative Interpretation Aussagen zur Mächtigkeit der Lockerbedeckung liefern (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.2).

Qualität: 3 Quantität: 3

Zusätzlich flächenhafte Erkundung von Materialwechseln und damit Bestimmung der räumlichen Homogenität des Wirtsgesteins mit Gravimetrie; Punktabstand maximal 200 m; quantitative Interpretation über Modellrechnungen.

Qualität: 3 Quantität: 3

Hoch auflösende 2D-Reflexionsseismik zur Erkundung von Inhomogenitäten im Wirtsgestein; ggf. Einsatz von 3D-Seismik bei komplizierteren Materialwechseln.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2 - 3

Verdichtung der unter A1.2 durchgeführten 2D-seismischen Messungen zur Bestimmung der Festgesteinsoberfläche (Refraktionsseismik); Verlauf und Anzahl (d.h. Profilabstand) der seismischen Profile wurden anhand der Ergebnisse der flächenhaften Erkundung festgelegt.

Qualität: 2 Quantität: 2

2D-geoelektrische Messungen zur Bestimmung der Festgesteinsoberfläche und zur Klassifizierung von Bodeneinheiten; quantitative Interpretation der Ergebnisse.

Qualität: 3 Quantität: 3

Für alle vorgeschlagenen Verfahren gilt: vor der Durchführung neuer Messungen ist zu prüfen, ob bereits entsprechende Daten im Untersuchungsgebiet vorliegen.

B1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Standardbohrlochmessprogramm: Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), magnetische Suszeptibilität, Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur; VSP-Messungen zur Verbesserung der Auswertung seismischer Messungen an der Oberfläche.

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.4 Geol. Kartierung**B1.5 Bohrungen**

Kernbohrungen im Deckgebirge sowie Kristallin.

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B1.7 Feldmessungen - Geochemie****B1.8 Feldmessungen - Geomechanik****B1.9 Labor**

Untersuchungen an Oberflächenproben und Kernmaterial (Mineralbestand, Geochemie, Isotopenanalyse → Gesteinsklassifizierung, Datierungen) – *standortspezifische Verdichtung der Datensätze aus A1.9.*

Qualität: 3 Quantität: 3

B1.10 Untertage Geophysik**B1.11 Untertage geol. Kartierung**

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung.

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.12 Untertage Bohrungen

Kernbohrungen

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.13 Untertage In-situ-Messungen

In-situ-Messprogramm zur Bestimmung des untertägigen Deformationsverhaltens (Ausbruchsverhalten) für verschiedene stratigraphische Einheiten \Rightarrow z.B. Ausweisung von Homogenbereichen = lithologische Gesteinseinheiten mit vergleichbarem Deformationsverhalten (z.B. berührungslose Vermessung von Konvergenzmarken an der Gebirgskontur entlang einer Strecke, Extensometermessungen für verschiedene stratigraphische Einheiten in Bohrlöchern mit unterschiedlichen Teufenabständen zur Kontur).

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.14 Untertage Labor

Untersuchungen an Gesteinsproben (Mineralbestand, Geochemie, Isotopenanalyse \rightarrow Gesteinsklassifizierung, Datierungen) - lokale Verdichtung und teufenabhängige Ergänzung der unter A1 bis A3 gewonnenen Datensätze.

Qualität: 3 Quantität: 3

B2 Geometrie**B2.1 Fernerkundung****B2.2 Geophysik (übertägig)**

Einsatz gravimetrischer und magnetischer Messungen, um Vorstellungen von Geometrie bzw. Einfällen der wichtigsten Gesteinseinheiten zu erarbeiten; quantitative Interpretation (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.2).

Qualität: 3 Quantität: 3

Verdichtung der unter A1.2 durchgeführten 2D-seismischen Messungen zur Bestimmung der Festgesteinsoberfläche (Refraktionsseismik).

Verlauf und Anzahl (d.h. Profilabstand) der seismischen Profile wird anhand der Ergebnisse der flächenhaften Erkundung festgelegt (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.2).

Qualität: 2 Quantität: 2

2D-geoelektrische Messungen zur Bestimmung der Festgesteinsoberfläche; quantitative Interpretation der Ergebnisse (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.2).

Qualität: 3 Quantität: 3

Für alle vorgeschlagenen Verfahren gilt: vor der Durchführung neuer Messungen ist zu prüfen, ob bereits entsprechende Daten im Untersuchungsgebiet vorliegen.

B2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Standardbohrlochmessprogramm: Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), magnetische Suszeptibilität, Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.3).

VSP zur Verbesserung der Auswertung seismischer Messungen an der Oberfläche (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.3).

Qualität: 3 Quantität: 2

B2.4 Geol. Kartierung**B2.5 Bohrungen**

Kernbohrungen im Deckgebirge sowie Kristallin (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.5).

Qualität: 3 Quantität: 2

B2.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B2.7 Feldmessungen - Geochemie****B2.8 Feldmessungen - Geomechanik****B2.9 Labor****B2.10 Untertage Geophysik****B2.11 Untertage geol. Kartierung**

Visuelle Aufnahme (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.11).

Qualität: 1 Quantität: 2

B2.12 Untertage Bohrungen

Kernbohrungen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.12).

Qualität: 3 Quantität: 2

B2.13 Untertage In-situ-Messungen**B2.14 Untertage Labor****B3 Makro-Struktur****B3.1 Fernerkundung****B3.2 Geophysik (übertägig)**

Aufgrund der geringen Lockergesteinsbedeckung können zur flächenhaften Erkundung von Störungen und Klüftzonen aero-geophysikalische Verfahren eingesetzt werden, speziell magnetische, elektromagnetische (Multi-Frequenz-EM, VLF) und radiometrische Verfahren (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.2).

Qualität: 3 Quantität: 3

Flächenhafte gravimetrische und ggf. ergänzende bodenmagnetische Erkundung von Störungen und Klüftzonen mit einem Punktabstand von maximal 200 m; quantitative Interpretation über Modellrechnungen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.2).

Qualität: 3 Quantität: 3

Verdichtung der unter A1.2 durchgeführten 2D-seismischen Messungen zur Erkundung von Störungen und Klüftzonen (Reflexions- und/oder Refraktionsseismik); Verlauf und Anzahl (d.h. Profilabstand) der seismischen Profile werden anhand der Ergebnisse der flächenhaften Erkundung festgelegt; zeichnen sich stärker gestörte Lagerungsverhältnisse ab, sind 3D-seismische Messungen zu bevorzugen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.2)

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2 - 3

Elektromagnetische Messungen an der Erdoberfläche mit großer Erkundungstiefe zur Erkundung elektrisch leitfähiger (Stör-) Zonen; der Einsatz dieser Verfahren hängt auch davon ab, ob die Messungen durch die Infrastruktur gestört sein können.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2 - 3

Für alle vorgeschlagenen Verfahren gilt: vor der Durchführung neuer Messungen ist zu prüfen, ob bereits entsprechende Daten im Untersuchungsgebiet vorliegen.

Errichtung eines mikroseismischen Netzwerkes zur Erfassung seismologischer Ereignisse; in Abhängigkeit von den Bedingungen im Deckgebirge kann es notwendig sein, das Netzwerk in flachen Bohrlöchern zu installieren (→ Gewinnung von Daten von Herdflächenlösungen).

Qualität: 3 Quantität: 3

B3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Standardbohrlochmessprogramm: Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), magnetische Suszeptibilität, Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.3).

VSP-Messungen zur Verbesserung der Auswertung seismischer Messungen an der Oberfläche (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.3).

Akustisches Bohrlochfernsehen und andere bildgebende Verfahren (z.B. optisches Fernsehen, Formation Microlmager).

Einsatz von Bohrlochradar für die Störungsverfolgung im weiteren Umfeld der Bohrung.

Ggf. crosshole-Tomographie (Georadar, seismisch) zur Erkundung von Störungsverläufen.

Qualität: 3 Quantität: 2 - 3

B3.4 Geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung des Deckgebirges sowie in der Region vorhandener Ausbisse des Kristallins (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.4).

Qualität: 3 Quantität: 2

B3.5 Bohrungen

Kernbohrungen im Deckgebirge sowie Kristallin (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.5).

Qualität: 3 Quantität: 2

B3.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B3.7 Feldmessungen - Geochemie

B3.8 Feldmessungen - Geomechanik

B3.9 Labor

B3.10 Untertage Geophysik

Radar- und/oder seismische Messungen von Strecken oder Bohrlöchern aus; ggf. crosshole-Messungen.

Qualität: 3 Quantität: 2 - 3

B3.11 Untertage geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.11).

Qualität: 3 Quantität: 2

B3.12 Untertage Bohrungen

Kernbohrungen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.12).

Qualität: 3 Quantität: 2

B3.13 Untertage In-situ-Messungen

In-situ-Messprogramm zur Bestimmung des untertägigen Deformationsverhaltens vom anstehenden Gebirge und im Bereich von aufgeschlossenen Störungszonen. Neben der Bestimmung von Matrixeigenschaften (vgl. B1.13) sind Teilbewegungen verschiedener Gesteinseinheiten an Störungszonen (z.B. Verschiebungs-(Fissurometer-)messungen an Klüften oder Rissen) zu erfassen. Bezüglich der Auswertung ist zu berücksichtigen, dass neben tektonischen Effekten auch Umwelteinflüsse (z.B. Temperatur-, Feuchtigkeitsänderungen) die Messungen beeinflussen können. Die Messdaten liefern die Basis für Rück- bzw. Prognoserechnungen mit einem daran zu kalibrierenden numerischen Rechenmodell.

Qualität: 3 Quantität: 2

B3.14 Untertage Labor**B4 Mikro-Struktur****B4.1 Fernerkundung****B4.2 Geophysik (übertägig)****B4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B4.4 Geol. Kartierung****B4.5 Bohrungen****B4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B4.7 Feldmessungen - Geochemie****B4.8 Feldmessungen - Geomechanik****B4.9 Labor**

Charakterisierung des Wirtsgesteins mittels Struktur- und Gefügeuntersuchungen in verschiedenen Maßstäben; mikroskopische Beschreibung des Porenraumes und dessen Geometrie sowie von Deformationsstrukturen auch hinsichtlich Transportmechanismen und Fließpfaden.

Qualität: 3 Quantität: 3

B4.10 Untertage Geophysik**B4.11 Untertage geol. Kartierung**

B4.12 Untertage Bohrungen**B4.13 Untertage In-situ-Messungen****B4.14 Untertage Labor**

Charakterisierung des Wirtsgesteins mittels Struktur- und Gefügeuntersuchungen in verschiedenen Maßstäben; mikroskopische Beschreibung des Porenraumes und dessen Geometrie sowie von Deformationsstrukturen auch hinsichtlich Transportmechanismen und Fließpfaden (wie B4.9).

Qualität: 3 Quantität: 3

B5 In-situ-Spannungsverhältnisse**B5.1 Fernerkundung****B5.2 Geophysik (übertägig)****B5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

TelevIEWer-Befahrung zur Detektierung von Bohrlochrandausbrüchen.

Qualität: 3 Quantität: 2

B5.4 Geol. Kartierung**B5.5 Bohrungen****B5.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B5.7 Feldmessungen - Geochemie****B5.8 Feldmessungen - Geomechanik**

Bestimmung des Spannungszustandes mittels hydraulic fracturing und Packerabdrucktests; Tests sowohl im Deckgebirge als auch im Wirtsgestein bzw. potenziellen Einlagerungshorizont; mehrere Einzelmessungen entlang eines Profils mit definiertem Abstand liefern Messdaten für ein Raummodell.

Qualität: 3 Quantität: 3

B5.9 Labor

Spannungsbestimmungen an Kernmaterial im Labor über Kernrelaxation bzw. Rekompaktion von Spannungsrissen (z.B. RACOS-Verfahren - für Details s. BRAUN et al. 1999); Adaption der Ergebnisse aus Feldmessungen und Laboruntersuchungen in ein geomechanisch / numerisches Modell.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B5.10 Untertage Geophysik

Nach bzw. während des Auffahrens der Strecken Errichtung eines mikroseismischen Netzwerkes untertage zur Erfassung spannungsbedingter Ereignisse → Lokalisierung von Spannungskonzentrationen mit bruchhaften Ereignissen.

Qualität: 3 Quantität: 3

B5.11 Untertage geol. Kartierung**B5.12 Untertage Bohrungen****B5.13 Untertage In-situ-Messungen**

Sondierungen in flachen Bohrungen - Teufe bis 20 m (z.B. hydraulic fracturing; Schlitzsonde); Verformungs- bzw. Kraftmessungen an Ausbaukomponenten z.B. über Druckkissen oder Extensometer - mehrere Einzelmessungen entlang eines Profils mit definiertem Abstand liefern Messdaten für ein Raummodell.

Qualität: 3 Quantität: 3

B5.14 Untertage Labor

Spannungsbestimmungen an Kernmaterial im Labor über Kernrelaxation bzw. Rekompaktion von Spannungsrissen (z.B. RACOS-Verfahren); Adaption der Ergebnisse aus Feldmessungen und Laboruntersuchungen in ein geomechanisch / numerisches Modell (Methoden wie B5.9, aber günstigere Messbedingungen).

Qualität: 3 Quantität: 2

B6 Mineralogie**B6.1 Fernerkundung****B6.2 Geophysik (übertägig)****B6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B6.4 Geol. Kartierung****B6.5 Bohrungen****B6.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B6.7 Feldmessungen - Geochemie****B6.8 Feldmessungen - Geomechanik****B6.9 Labor**

Charakterisierung des Wirtsgesteins zur mineralogischen Zusammensetzung, z.B. Quarz-, Tonmineral-, Karbonatgehalt und Akzessorien sowie Verteilung der Komponenten; zusätzlich Bestimmung der Mineralogie von Kluffüllungen und Störungsmineralisationen (hinsichtlich Stofftransport, Lösung, Fällung); an Kernmaterial aber auch an Bohrklein möglich; geeignete qualitative und quantitative Methoden sind mineraloptische Untersuchungen (Dickschliff-, Dünnschliff-, Auflichtmikroskopie) und Röntgendiffraktometrie.

Qualität: 3 Quantität: 2

B6.10 Untertage Geophysik**B6.11 Untertage geol. Kartierung****B6.12 Untertage Bohrungen****B6.13 Untertage In-situ-Messungen****B6.14 Untertage Labor**

Vervollständigung der Datensätze aus B6.9.

Qualität: 3 Quantität: 3

B7 Petrophysikalische Eigenschaften**B7a Gesteinsmechanik****B7a.1 Fernerkundung****B7a.2 Geophysik (übertägig)****B7a.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7a.4 Geol. Kartierung****B7a.5 Bohrungen****B7a.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7a.7 Feldmessungen - Geochemie****B7a.8 Feldmessungen - Geomechanik**

B7a.9 Labor

Durchführung von geotechnischen Laborversuchen in Form von Triaxial-, Uniaxial-, Spaltzug- und Scherversuchen an geeignetem Kernmaterial zur Bestimmung von gesteinsmechanischen Parametern von Matrix- und Trennflächeneigenschaften (z.B. Festigkeit, MOHR-COULOMB-Parameter); das Kernmaterial sollte sowohl aus dem Einlagerungshorizont im Wirtsgestein als auch aus den Deckgebirgsschichten stammen.

Bestimmung von gesteinsphysikalischen Parametern wie Dichte und Ultraschallgeschwindigkeiten sowie daraus abgeleiteter dynamisch elastischer Eigenschaften zur Charakterisierung der Wirtsgesteinseigenschaften an Kernmaterial aus definierten Teufenbereichen bzw. an Kernmaterial mit Materialwechsel / Schichtgrenzen.

Erarbeitung eines geomechanischen 3D-Modells.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B7a.10 Untertage Geophysik**B7a.11 Untertage geol. Kartierung****B7a.12 Untertage Bohrungen****B7a.13 Untertage In-situ-Messungen**

In-situ-Messprogramm zur Bestimmung des untertägigen Deformationsverhaltens (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B3.13).

Qualität: 3 Quantität: 2

B7a.14 Untertage Labor

Vervollständigung der Datensätze aus B7a.9: Präzisierung des geomechanischen 3D-Modells.

Qualität: 3 Quantität: 3

B7b Hydraulisch (z.B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)**B7b.1 Fernerkundung****B7b.2 Geophysik (übertägig)****B7b.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7b.4 Geol. Kartierung****B7b.5 Bohrungen****B7b.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7b.7 Feldmessungen - Geochemie****B7b.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7b.9 Labor**

Bestimmung der Porosität des Wirtsgesteins mittels laboranalytischer Methoden (Pyknometer-Porosität, Wasserverlust-Porosität, Diffusions-Porosität, geochemische Porosität); ebenso Bestimmung von Sättigung sowie Permeabilität des Wirtsgesteins; Maßstab: cm- bis dm-Bereich.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B7b.10 Untertage Geophysik**B7b.11 Untertage geol. Kartierung****B7b.12 Untertage Bohrungen****B7b.13 Untertage In-situ-Messungen**

B7b.14 Untertage Labor

Vervollständigung der Datensätze aus B7b.9.

Qualität: 3 Quantität: 3

B7c Diffusion

B7c.1 Fernerkundung

B7c.2 Geophysik (übertägig)

B7c.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7c.4 Geol. Kartierung

B7c.5 Bohrungen

B7c.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7c.7 Feldmessungen - Geochemie

B7c.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7c.9 Labor

Lithologie-spezifische Bestimmung von Diffusionsparametern der Gesteinsmatrix des Wirtsgesteins an Kernproben im cm- bzw. dm-Maßstab (Langzeituntersuchungen).

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1 - 2

B7c.10 Untertage Geophysik

B7c.11 Untertage geol. Kartierung

B7c.12 Untertage Bohrungen

B7c.13 Untertage In-situ-Messungen

B7c.14 Untertage Labor

Vervollständigung der Datensätze aus B7c.9 (Vorteil: bessere Probenahmemöglichkeit).

Qualität: 3 Quantität: 2

B7d Thermisch

B7d.1 Fernerkundung

B7d.2 Geophysik (übertägig)

B7d.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7d.4 Geol. Kartierung

B7d.5 Bohrungen

B7d.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7d.7 Feldmessungen - Geochemie

B7d.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7d.9 Labor

Bestimmung von Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität und Wärmeausdehnung an Kernproben im Labor.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 3

B7d.10 Untertage Geophysik**B7d.11 Untertage geol. Kartierung****B7d.12 Untertage Bohrungen****B7d.13 Untertage In-situ-Messungen**

Aufheizversuche in Bohrlöchern bzw. großskalige Erhitzeranordnungen zur Simulation der Einlagerung von wärmeproduzierenden Abfallgebinden.

Qualität: 3 Quantität: 1

Vervollständigung der Datensätze aus B7d.9 (Vorteil: bessere Probenahmemöglichkeit).

Qualität: 3 Quantität: 3

B7d.14 Untertage Labor**B7e THMC-Kopplung****B7e.1 Fernerkundung****B7e.2 Geophysik (übertägig)****B7e.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7e.4 Geol. Kartierung****B7e.5 Bohrungen****B7e.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7e.7 Feldmessungen - Geochemie****B7e.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7e.9 Labor**

Laboruntersuchungen zur Bestimmung von THMC-Eigenschaften unter definierten Randbedingungen (Nachteil: aufgelockertes Kernmaterial sowie skalenabhängige Repräsentativität).

Anmerkung: Aufgrund der wechselseitigen Überlagerung der verschiedenen Einflussparameter (z.B. Spannungsfeld, Porendruck, Feuchtigkeit, Sättigung, Temperatur und geochemisches Milieu) auf den zu charakterisierenden Prozess bzw. die daraus resultierende Eigenschaft, z.B. mechanische Festigkeit oder hydraulische Durchlässigkeit, gibt es keine experimentellen Standarduntersuchungsverfahren. Hinzu kommt, dass bestimmte Prozesse, z.B. poroelastische Effekte, wenn sie elastisch bedingt sind, bei Änderung der Randbedingungen spontane Effekte bewirken können (z.B. Zunahme des Porendrucks bei isostatischer Belastung einer wassergesättigten Probe) oder z.B. bei chemischen Reaktionen extrem zeitabhängig sind. In der Konsequenz handelt es sich bei diesen Untersuchungen in erster Linie um generische Untersuchungen zum grundsätzlichen Verständnis der Effekte, wobei eine standortspezifische Umsetzung der Ergebnisse z.B. für die Bewertung untertägiger Messungen nur über komplexe numerische Modellrechnungen erfolgen kann (vgl. B7e.11).

Aufgrund der daraus resultierenden Komplexität werden zumeist an Kernproben ($\varnothing = 10$ bis 40 cm) der zu charakterisierenden Gesteinsinformation unter einer definierten Einspannung einzelne Randbedingungen, wie z.B. der Porendruck oder geochemische Zustandsbedingungen, zur Initiierung von Fällungs- oder Lösungsreaktionen kontrolliert geändert und die integral gemessenen Eigenschaften (Festigkeit, Permeabilität) für verschiedene Bedingungen bestimmt. Auf Basis dieser experimentellen Untersuchungen werden empirische Zusammenhänge abgeleitet, die eine Basis für numerische Modellrechnungen liefern. Im Rahmen verschiedener EU-Projekte werden aktuell die vorhandenen numerischen Werkzeuge (z.B. TOUGH2) und Rechenansätze für verschiedene Gesteine (Theresa - Salzgestein; Timodaz - Tonstein) verglichen und bezüglich ihrer Eignung bewertet.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B7e.10 Untertage Geophysik**B7e.11 Untertage geol. Kartierung****B7e.12 Untertage Bohrungen****B7e.13 Untertage In-situ-Messungen**

Großskalige In-situ-Versuche zur Bestimmung von THMC-Eigenschaften unter repräsentativen Randbedingungen (Einbeziehung der Datensätze aus B7d.13): In Ergänzung der vorliegenden Labordatensätze sind insbesondere zur Bewertung möglicher Skaleneffekte langjährige Großversuche durchzuführen. Hierzu gehören z.B. Erhitzerversuche oder Testen von Abschlussbauwerken, bei denen unter realitätsnahen Bedingungen mit Änderung der Randparameter (z.B. Temperaturerhöhung oder hydraulische Belastung) eine Vielzahl von Messparametern (z.B. mechanische Dehnung, Temperatur, Feuchtigkeit, Durchlässigkeit, geochemische Kenngrößen) dreidimensional im Messfeld verteilt über einen längeren Zeitraum gemessen werden. Diese umfangreiche Datenbasis ist unerlässlich für eine Kalibrierung der numerischen Modellrechnungen, die eine Prognose des Einflusses von THMC-Prozessen auf die langzeitliche mechanische und hydraulische Integrität der geologischen Barriere während der Betriebsphase und nach Verschluss des Endlagers ermöglichen sollen.

Anmerkung: Aufgrund der Komplexität von THMC-Prozessen zielen die Untersuchungen nicht auf ein vollständiges, quantitatives Verständnis dieser Prozesse ab, sondern mit den Untersuchungen muss zumindest die Größenordnung der zu erwartenden Effekte infolge Auffahrung und Betrieb eines Endlagers aufgrund der daraus resultierenden veränderten Randbedingungen für den Nachweis der Langzeitsicherheit abschätz- und bewertbar sein.

Qualität: 3 Quantität: 1 - 2

B7e.14 Untertage Labor

Vervollständigung der Datenbasis aus B7e.9 (Im Gegensatz zur Bohrkerngewinnung aus tiefen Bohrungen können hier unter sehr viel günstigeren Bedingungen über Großbohrlöcher bzw. eine Großblockentnahme schonender und damit weniger sekundär durch Auflockerung beeinflusste Proben gewonnen werden.)

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B7f Chemische Eigenschaften (z.B. Oxidation, Adsorption)**B7f.1 Fernerkundung****B7f.2 Geophysik (übertägig)****B7f.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7f.4 Geol. Kartierung****B7f.5 Bohrungen****B7f.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7f.7 Feldmessungen - Geochemie****B7f.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7f.9 Labor**

Lithologie-spezifische Bestimmung von chemischen Parametern der Gesteinsmatrix des Wirtsgesteins bzw. des Deckgebirges an Kernproben im cm- bzw. dm-Maßstab (Langzeituntersuchungen).

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1 - 2

B7f.10 Untertage Geophysik**B7f.11 Untertage geol. Kartierung****B7f.12 Untertage Bohrungen**

B7f.13 Untertage In-situ-Messungen

Großskalige In-situ-Versuche unter repräsentativen Randbedingungen (Einbeziehung der Datensätze aus B7d.13).

Qualität: 3 Quantität: 1

B7f.14 Untertage Labor

Lithologie-spezifische Bestimmung von chemischen Parametern der Gesteinsmatrix des Wirtsgesteins an Kernproben im cm- bzw. dm-Maßstab (Langzeituntersuchungen).

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1 - 2

C Hydrogeologie des Wirtsgesteins und der Rahmengesteine (Feldmaßstab)**C1 Hydraulisch wirksame Einheiten****C1.1 Fernerkundung****C1.2 Geophysik (übertägig)**

2D-seismische Messungen zur Erfassung flach einfallender Störungen, die gleichzeitig auch hydraulisch wirksam sein können (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B3.2).

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2 - 3

C1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Standardbohrlochmessprogramm: Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), magnetische Suszeptibilität, Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.3).

Qualität: 2 Quantität: 2

C1.4 Geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen und Beprobung von Wasseraustritten.

Qualität: 3 Quantität: 2

C1.5 Bohrungen

Kernbohrungen im Deckgebirge sowie Kristallin (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.5).

Qualität: 3 Quantität: 2

C1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil.

Qualität: 3 Quantität: 2

Interferenztest mit Multi-Packer-Beobachtungen.

Qualität: 3 Quantität: 2

C1.7 Feldmessungen - Geochemie**C1.8 Feldmessungen - Geomechanik****C1.9 Labor****C1.10 Untertage Geophysik**

C1.11 Untertage geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.11).

Qualität: 3 Quantität: 2

C1.12 Untertage Bohrungen

Kernbohrungen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.12).

Qualität: 3 Quantität: 2

C1.13 Untertage In-situ-Messungen

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil.

Qualität: 3 Quantität: 2

C1.14 Untertage Labor

C2 Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein

C2.1 Fernerkundung

C2.2 Geophysik (übertägig)

C2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

C2.4 Geol. Kartierung

C2.5 Bohrungen

C2.6 Feldmessungen - Geohydraulik

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.6).

Qualität: 1 Quantität: 2

Multi-Packer-Beobachtungen

Qualität: 3 Quantität: 2

C2.7 Feldmessungen - Geochemie

C2.8 Feldmessungen - Geomechanik

C2.9 Labor

C2.10 Untertage Geophysik

C2.11 Untertage geol. Kartierung

C2.12 Untertage Bohrungen

C2.13 Untertage In-situ-Messungen

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.13).

Qualität: 1 Quantität: 2

Multi-Packer-Beobachtungen

Qualität: 3 Quantität: 2

C2.14 Untertage Labor

C3 Fließ- und Speicherparameter

C3.1 Fernerkundung

C3.2 Geophysik (übertägig)

C3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

C3.4 Geol. Kartierung

C3.5 Bohrungen

C3.6 Feldmessungen - Geohydraulik

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.6).

Qualität: 3 Quantität: 2

Interferenztest mit Multi-Packer-Beobachtungen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.6).

Qualität: 3 Quantität: 2

C3.7 Feldmessungen - Geochemie

C3.8 Feldmessungen - Geomechanik

C3.9 Labor

C3.10 Untertage Geophysik

C3.11 Untertage geol. Kartierung

C3.12 Untertage Bohrungen

C3.13 Untertage In-situ-Messungen

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.13).

Qualität: 3 Quantität: 2

C3.14 Untertage Labor

C4 Zwei-Phasenfluss-Parameter

C4.1 Fernerkundung

C4.2 Geophysik (übertägig)

C4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

C4.4 Geol. Kartierung

C4.5 Bohrungen

C4.6 Feldmessungen - Geohydraulik

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.6).

Qualität: 3 Quantität: 2

C4.7 Feldmessungen - Geochemie

C4.8 Feldmessungen - Geomechanik

C4.9 Labor

C4.10 Untertage Geophysik

C4.11 Untertage geol. Kartierung

C4.12 Untertage Bohrungen**C4.13 Untertage In-situ-Messungen**

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.13).

Qualität: 3 Quantität: 2

C4.14 Untertage Labor**D Hydrochemie****D1 Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)****D1.1 Fernerkundung****D1.2 Geophysik (übertägig)****D1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D1.4 Geol. Kartierung****D1.5 Bohrungen****D1.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D1.7 Feldmessungen - Geochemie****D1.8 Feldmessungen - Geomechanik****D1.9 Labor**

Analyse stabiler Isotopen ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ und $^2\text{H}/^1\text{H}$) in Wasserproben vom Kristallin sowie Deckgebirge. Analyse von Tritium (^3H) in allen Wasserproben, um Kontaminationen sowie das Eindringen jüngerer Wässer in Deckgebirge zu erkennen.

Qualität: 3 Quantität: 2

Analyse von ^{14}C sowie stabiler Kohlenstoffisotopen ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) in ausgewählten Wasserproben mit geringer Kontamination (< 2%).

Qualität: 3 Quantität: 2

Analyse von ^{36}Cl in Wasserproben von der Endlagerteufe im Kristallin sowie vom unteren Teil des Deckgebirges, um die Vermischung des Grundwassers sowie die Residenzzeiten zu ermitteln. (Erforderlich sind auch Informationen zum U- sowie Th-Gehalt des Gesteins, um die natürliche Entstehung von ^{36}Cl zu berechnen.)

Qualität: 3 Quantität: 2

Analyse von Helium (^4He) in Wasserproben, die noch die gelösten Gase enthalten, um das Akkumulationsalter (erforderliche Zeit, nach welcher die gemessene Konzentration erreicht wird) zu bestimmen. (Erforderlich sind auch Informationen zum U- sowie Th-Gehalt des Gesteins, um die natürliche Entstehung von ^4He zu berechnen.)

Qualität: 3 Quantität: 2

D1.10 Untertage Geophysik**D1.11 Untertage geol. Kartierung****D1.12 Untertage Bohrungen****D1.13 Untertage In-situ-Messungen**

D1.14 Untertage Labor

Analyse von Tritium (^3H) in Wasserzuflüssen, um das Eindringen jüngerer Wässer zu erkennen.

Qualität: 3 Quantität: 3

Analyse von ^{14}C sowie stabiler Kohlenstoffisotopen ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) in Wasserzuflüssen, um das Eindringen jüngerer Wässer zu erkennen.

Qualität: 3 Quantität: 3

D2 Porenwasserchemismus**D2.1 Fernerkundung****D2.2 Geophysik (übertägig)**

In Gebieten, in denen das Grundwasser stärker mineralisiert sein kann, können elektromagnetische Messungen an der Erdoberfläche zur Erfassung des Mineralisationsgrades im Grundgebirge herangezogen werden; quantitative Interpretation der Ergebnisse.

Qualität: 3 Quantität: 3

D2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Standardbohrlochmessprogramm: Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), magnetische Suszeptibilität, Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.3).

Qualität: 2 Quantität: 2

D2.4 Geol. Kartierung**D2.5 Bohrungen****D2.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D2.7 Feldmessungen - Geochemie**

Bestimmung der In-situ-Werte (pH, Eh, elektrische Leitfähigkeit, gelöster Sauerstoff, Temperatur) unter Anwendung einer Bohrlochsonde (z.B. SKB CHEMMAC-Probe oder JAEA Geochemical Probe) oder von Durchflusszellen am Bohrlochkopf für von gepackerten Intervallen abgepumptes Wasser.

Qualität: 3 Quantität: 3

Analyse für redoxempfindliche gelöste Stoffe (Fe^{2+} , Fe^{3+} und HS^-) kurz nach der Beprobung; Beprobung am Bohrlochkopf des von einem abgepackten Intervall abgepumpten Wassers.

Qualität: 3 Quantität: 3

D2.8 Feldmessungen - Geomechanik**D2.9 Labor**

Analyse von Wasserproben aus dem Kristallin sowie dem Deckgebirge für gelöste Hauptstoffe (elektrische Leitfähigkeit, Na, K, Ca, Mg, Sr, Cl, SO_4 , HCO_3 , Br, organischer Kohlenstoff), Spurenelemente sowie gelöste Gase (bei Beprobung ohne Änderung des Wasserdruckes); Beprobung erfolgt durch Bohrlochsonde oder Pumpen aus den abgepackten Intervallen; die Proben werden so gewonnen, um eine geringe Kontamination mit Spülwasser zu gewährleisten (für Tonschichten im Deckgebirge werden Proben durch Laugung extrahiert und anschließend für einige nichtreaktive gelöste Stoffe analysiert (elektrische Leitfähigkeit, Cl^- , Br^-)).

Qualität: 3 Quantität: 3

Mikrobiologische Analyse ausgewählter Proben.

Qualität: 3 Quantität: 3

Ausgewählte Proben werden für Isotope von U, Th, Ra sowie Rn analysiert.

Qualität: 3 Quantität: 2

D2.10 Untertage Geophysik

D2.11 Untertage geol. Kartierung

D2.12 Untertage Bohrungen

D2.13 Untertage In-situ-Messungen

Messungen der Eh- sowie pH-Werte zufließender Wässer in Durchflussszellen.

Qualität: 3 Quantität: 3

D2.14 Untertage Labor

Analyse von Wasserproben aus Bohrungen in wasserführenden Einheiten für gelöste Hauptstoffe (elektrische Leitfähigkeit, Na, K, Ca, Mg, Sr, Cl, SO₄, HCO₃, Br, organischer Kohlenstoff), Spurenelemente sowie für redoxempfindliche gelöste Stoffe (Fe²⁺, Fe³⁺ und HS⁻).

Qualität: 3 Quantität: 3

Zeitreihenanalyse der Wasserproben (s.o.) für elektrische Leitfähigkeit, Cl⁻, ³H und ¹⁴C, um mögliche Änderungen der Quelle der jeweiligen Zuflüsse zu entdecken.

Qualität: 3 Quantität: 3

D3 Transporteigenschaften

D3.1 Fernerkundung

D3.2 Geophysik (übertägig)

D3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

D3.4 Geol. Kartierung

D3.5 Bohrungen

D3.6 Feldmessungen - Geohydraulik

Tracertest mit unbekannten Randbedingungen

Qualität: 1 Quantität: 2

D3.7 Feldmessungen - Geochemie

D3.8 Feldmessungen - Geomechanik

D3.9 Labor

Beschreibung der Geometrie des Porenraumes, welche letztlich Transportprozesse wie Advektion und Diffusion bestimmt; Charakterisierung der Porosität des Wirtsgesteins (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B7b.9).

Qualität: 3 Quantität: 2

Bestimmung der Verteilungskoeffizienten (K_d oder R_d) für relevante Radionuklide an Proben des Wirtsgesteins - gesamtes Gestein sowie in Klüften enthaltene Mineralien - sowie des Deckgebirges

Qualität: 3 Quantität: 3

D3.10 Untertage Geophysik**D3.11 Untertage geol. Kartierung****D3.12 Untertage Bohrungen****D3.13 Untertage In-situ-Messungen**

Tracertest: Randbedingungen bekannt, großer Maßstab.

Qualität: 3 Quantität: 2

D3.14 Untertage Labor

Bestimmung der Verteilungskoeffizienten (K_d oder R_d) für relevante Radionuklide oder analoge Elemente an untertägigen Proben des Wirtsgesteins - gesamtes Gestein sowie in Klüften enthaltene Mineralien.

Qualität: 3 Quantität: 3

D4 Kolloide usw.**D4.1 Fernerkundung****D4.2 Geophysik (übertägig)****D4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D4.4 Geol. Kartierung****D4.5 Bohrungen****D4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D4.7 Feldmessungen - Geochemie****D4.8 Feldmessungen - Geomechanik****D4.9 Labor**

Teilchen werden getrennt in Korngrößengruppen zwischen 1 Nanometer und 1 Mikrometer durch Ultrafiltration während der Entnahme von Wasserproben mit geringer Kontamination oder anderen Beeinflussungen gezählt sowie bzgl. ihrer mineralischen sowie chemischen Zusammensetzung analysiert; absorbierte gelöste Stoffe werden nach Laugung analysiert.

Qualität: 3 Quantität: 3

D4.10 Untertage Geophysik**D4.11 Untertage geol. Kartierung****D4.12 Untertage Bohrungen****D4.13 Untertage In-situ-Messungen****D4.14 Untertage Labor**

Intensivierte Umsetzung des in D4.9 praktizierten Messprogrammes über räumlich verteilte Messstellen.

Qualität: 3 Quantität: 3

Literatur

BRAUN, R., JAHNS, E. & STROMEYER, D. (1999): Ermittlung von Gebirgsstrukturen und -belastungen. *Erdöl Erdgas Kohle*, Vol 115, No.4, S. 191-197.

Kristallin - geringe Bedeckung	Erkundungs- methoden: 1-9 übertägig 10-14 untertägig	Fernerkundung	Geophysik (übertägig)	Geophysik (im Bohrloch)	Geol. Kartierung	Bohrungen	Feldmessungen - Geohydraulik	Feldmessungen - Geochemie	Feldmessungen - Geomechanik	Labor	Geophysik	geologische Kartierung	Bohrungen	In-situ- Messungen	Labor	
Inhalte der Themenkomplexe	Bezeichnungen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Regionale Geologie (20 km*20 km)																
Wirtsgestein / Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)	A1															
Stratigraphie	A2															
Strukturgeologie und Tektonik (Störungsmuster, Faltung)	A3															
Regionales Spannungsfeld	A4															
Temperatur und Wärmeleitfähigkeit	A5															
Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z.B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)	A6															
Rohstoffvorkommen	A7															
Eigenschaften des Wirtsgesteins und der Rahmengesteine am Standort																
Lithologie	B1															
Geometrie (Tiefenlage, Ausdehnung)	B2															
Makro-Struktur (Großgefüge: Störungen / Faltungen / Deformationen / Klüfte)	B3															
Mikro-Struktur (Korngefüge / Porenstruktur)	B4															
In-situ-Spannungsverhältnisse	B5															
Mineralogie	B6															
Petrophysikalische Eigenschaften (Probenmaßstab):																
Gesteinsmechanik (z.B. Festigkeit, Kriechen)	B7a															
Hydraulik (z.B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)	B7b															
Diffusion	B7c															
Thermik	B7d															
THMC-Kopplung	B7e															
Chemismus (z.B. Oxidation, Adsorption)	B7f															
Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)																
Hydraulisch wirksame Einheiten	C1															
Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein	C2															
Fließ- und Speicherparameter	C3															
Zwei-Phasenfluss-Parameter	C4															
Hydrochemie																
Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)	D1															
Porenwasserchemismus	D2															
Transporteigenschaften	D3															
Kolloide usw.	D4															
			Erkundungsaktivität													

Anhang 13

Dokumentation der abgeleiteten Erkundung -
Kristallin mit mächtiger Bedeckung

A Regionale Geologie (20 km×20 km)

Zielstellung der Erkundung - ausgehend vom Kenntnisstand nach Auswertung der regional vorhandenen Datenlage:

- Bestätigung der im AkEnd-Verfahrensschritt 3 angenommenen lateralen Ausdehnung des Wirtsgesteins bzw. des Deckgebirges
- Bestätigung der im AkEnd-Verfahrensschritt 3 angenommenen Lage von geologischen Merkmalen wie Großstörungen, die die zur Erkundung ausgewählte Standortregion (< 20 km×20 km) einschränken

Hinweis: Die gezielte Bereitstellung standortspezifischer Daten für die Langzeitsicherheitsanalyse bzw. für die Untersuchung der bautechnischen Machbarkeit der Hohlraumerstellung unter den standortspezifischen Gegebenheiten erfolgt hauptsächlich durch die Erkundungen der Inhalte der Themenkomplexe B, C sowie D.

A1 Wirtsgestein/Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)

A1.1 Fernerkundung

A1.2 Geophysik

Schritt 1: flächenhafte Erkundung der lateralen Ausdehnung des Wirtsgesteins und von Materialwechseln mit Gravimetrie und Magnetik; Punktabstand ca. 500 m; quantitative Interpretation über Modellrechnungen

Vor der Durchführung neuer Messungen ist zu prüfen, ob bereits entsprechende Daten im Untersuchungsgebiet vorliegen.

Qualität: 3 Quantität: 2

Schritt 2: 2D-seismische Messungen zur Bestimmung der Festgesteinsoberfläche sowie zu Struktur und Mächtigkeit der Lockerbedeckung (Reflexions- und/oder Refraktionsseismik); Aussagen zur Mächtigkeit des Wirtsgesteins

Verlauf und Anzahl (d.h. Profilabstand) der seismischen Profile werden anhand der Ergebnisse der flächenhaften Erkundung in Schritt 1 festgelegt

Vor der Durchführung neuer Messungen ist zu prüfen, ob bereits seismische Messungen im Untersuchungsgebiet vorliegen, die über Reprocessing einbezogen werden können.

Qualität: 2 Quantität: 2

A1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Nach der geophysikalischen Oberflächenenerkundung gezielter Ansatz von Bohrungen und Einsatz des Standardprogramms der Bohrlochmessung (Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), magnetische Suszeptibilität, Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur).

Qualität: 2 Quantität: 2

A1.4 Geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung des Deckgebirges sowie eventuell in der Region vorhandener Ausbisse des Kristallins.

Qualität: 3 Quantität: 2

A1.5 Bohrungen

Kernbohrungen im Deckgebirge sowie im Kristallin.

Qualität: 3 Quantität: 1

A1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A1.7 Feldmessungen - Geochemie

A1.8 Feldmessungen - Geomechanik

A1.9 Labor

Untersuchungen an Oberflächenproben und Kernmaterial (Mineralbestand, Geochemie, Isotopenanalyse → Gesteinsklassifizierung, Datierungen).

Qualität: 3 Quantität: 2

A1.10 Untertage Geophysik

A1.11 Untertage geol. Kartierung

A1.12 Untertage Bohrungen

A1.13 Untertage In-situ-Messungen

A1.14 Untertage Labor

A2 Stratigraphie

A2.1 Fernerkundung

A2.2 Geophysik (übertägig)

A2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A2.4 Geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung des Deckgebirges sowie eventuell in der Region vorhandener Ausbisse des Kristallins (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.4).

Qualität: 3 Quantität: 2

A2.5 Bohrungen

A2.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A2.7 Feldmessungen - Geochemie

A2.8 Feldmessungen - Geomechanik

A2.9 Labor

Untersuchungen an Oberflächenproben und Kernmaterial (Mineralbestand, Geochemie, Isotopenanalyse → Gesteinsklassifizierung, Datierungen), (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.9).

Qualität: 3 Quantität: 2

A2.10 Untertage Geophysik

A2.11 Untertage geol. Kartierung

A2.12 Untertage Bohrungen

A2.13 Untertage In-situ-Messungen

A2.14 Untertage Labor

A3 Strukturgeologie und Tektonik

A3.1 Fernerkundung

A3.2 Geophysik (übertägig)

Schritt 1: flächenhafte Erkundung von Störungen und Klüftzonen mit Gravimetrie und Magnetik; Punktabstand ca. 500 m; quantitative Interpretation über Modellrechnungen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.2)

Qualität: 3 Quantität: 2

Schritt 2: 2D-seismische Messungen zur Erfassung von Störungszonen (Reflexions- und/oder Refraktionsseismik); Verlauf und Anzahl (d.h. Profilabstand) der seismischen Profile werden anhand der Ergebnisse der flächenhaften Erkundung in Schritt 1 festgelegt (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.2)

Qualität: 2 Quantität: 2

A3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Nach der geophysikalischen Oberflächenerkundung gezielter Ansatz von Bohrungen und Einsatz des Standardprogramms der Bohrlochmessung (Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), magnetische Suszeptibilität, Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur), (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.3).

Qualität: 2 Quantität: 2

A3.4 Geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung des Deckgebirges sowie eventuell in der Region vorhandener Ausbisse des Kristallins (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.4).

Qualität: 3 Quantität: 2

A3.5 Bohrungen**A3.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A3.7 Feldmessungen - Geochemie****A3.8 Feldmessungen - Geomechanik****A3.9 Labor**

Untersuchungen an Oberflächen- bzw. Kernproben (Texturanalyse z.B. U-Tisch, Neutronentextur).

Qualität: 3 Quantität: 2

A3.10 Untertage Geophysik**A3.11 Untertage geol. Kartierung****A3.12 Untertage Bohrungen****A3.13 Untertage In-situ-Messungen****A3.14 Untertage Labor****A4 Regionales Spannungsfeld****A4.1 Fernerkundung****A4.2 Geophysik (übertägig)****A4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A4.4 Geol. Kartierung****A4.5 Bohrungen**

A4.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A4.7 Feldmessungen - Geochemie

A4.8 Feldmessungen - Geomechanik

A4.9 Labor

A4.10 Untertage Geophysik

A4.11 Untertage geol. Kartierung

A4.12 Untertage Bohrungen

A4.13 Untertage In-situ-Messungen

A4.14 Untertage Labor

A5 Temperatur und Wärmeleitfähigkeit

A5.1 Fernerkundung

A5.2 Geophysik (übertägig)

A5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Temperaturmessungen in tiefen Bohrungen zur Bewertung des Temperaturgradienten im Deckgebirge und im Kristallin.

Qualität: 3 Quantität: 2

A5.4 Geol. Kartierung

A5.5 Bohrungen

A5.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A5.7 Feldmessungen - Geochemie

A5.8 Feldmessungen - Geomechanik

A5.9 Labor

A5.10 Untertage Geophysik

A5.11 Untertage geol. Kartierung

A5.12 Untertage Bohrungen

A5.13 Untertage In-situ-Messungen

A5.14 Untertage Labor

A6 Geodynamik/Entwicklungsgeschichte (z.B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)

A6.1 Fernerkundung

A6.2 Geophysik (übertägig)

A6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A6.4 Geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung des Deckgebirges sowie eventuell in der Region vorhandener Ausbisse des Kristallins (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.4).

Qualität: 3 Quantität: 2

A6.5 Bohrungen

A6.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A6.7 Feldmessungen - Geochemie**A6.8 Feldmessungen - Geomechanik****A6.9 Labor****A6.10 Untertage Geophysik****A6.11 Untertage geol. Kartierung****A6.12 Untertage Bohrungen****A6.13 Untertage In-situ-Messungen****A6.14 Untertage Labor****A7 Rohstoffvorkommen**

Aufgrund des in Deutschland vorliegenden Kenntnisstandes bezüglich des möglichen Vorkommens gewinnungshöffiger Rohstoffe, sind diesbezügliche zusätzliche Erkundungsmaßnahmen nicht erforderlich.

A7.1 Fernerkundung**A7.2 Geophysik (übertägig)****A7.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A7.4 Geol. Kartierung****A7.5 Bohrungen****A7.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A7.7 Feldmessungen - Geochemie****A7.8 Feldmessungen - Geomechanik****A7.9 Labor****A7.10 Untertage Geophysik****A7.11 Untertage geol. Kartierung****A7.12 Untertage Bohrungen****A7.13 Untertage In-situ-Messungen****A7.14 Untertage Labor*****B Eigenschaften des Wirtsgesteins und der Rahmengesteine am Standort*****B1 Lithologie/Stratigraphie****B1.1 Fernerkundung****B1.2 Geophysik**

Flächenhafte gravimetrische und magnetische Erkundung von Materialwechseln und damit Bestimmung der räumlichen Homogenität sowohl des Wirtsgesteins als auch des Deckgebirges mit einem Punktabstand von maximal 200 m; quantitative Interpretation über Modellrechnungen.

Vor der Durchführung neuer Messungen ist zu prüfen, ob bereits entsprechende Daten im Untersuchungsgebiet vorliegen.

Qualität: 3 Quantität: 3

Geoelektrische und/oder elektromagnetische Messungen zur Charakterisierung des Deckgebirges; Methodenauswahl ist abhängig von Mächtigkeit und Leitfähigkeit des Deckgebirges; quantitative Interpretation der Ergebnisse.

Qualität: 3 Quantität: 3

B1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Standardbohrlochmessprogramm: Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), magnetische Suszeptibilität, Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur.

VSP-Messungen zur Verbesserung der Auswertung seismischer Messungen an der Oberfläche.

Qualität: 2 Quantität: 2

B1.4 Geol. Kartierung

B1.5 Bohrungen

Kernbohrungen im Deckgebirge sowie Kristallin.

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B1.7 Feldmessungen - Geochemie

B1.8 Feldmessungen - Geomechanik

B1.9 Labor

Untersuchungen an Oberflächenproben und Kernmaterial (Mineralbestand, Geochemie, Isotopenanalyse → Gesteinsklassifizierung, Datierungen) - *standortspezifische Verdichtung der Datensätze aus A1.9.*

Qualität: 3 Quantität: 3

B1.10 Untertage Geophysik

B1.11 Untertage geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung.

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.12 Untertage Bohrungen

Kernbohrungen

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.13 Untertage In-situ-Messungen

In-situ-Messprogramm zur Bestimmung des untertägigen Deformationsverhaltens (Ausbruchsverhalten) für verschiedene stratigraphische Einheiten ⇒ z.B. Ausweisung von Homogenbereichen = lithologische Gesteinseinheiten mit vergleichbarem Deformationsverhalten (z.B. berührungslose Vermessung von Konvergenzmarken an der Gebirgskontur entlang einer Strecke, Extensometermessungen für verschiedene stratigraphische Einheiten in Bohrlöchern mit unterschiedlichen Teufenabständen zur Kontur).

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.14 Untertage Labor

Untersuchungen an Gesteinsproben (Mineralbestand, Geochemie, Isotopenanalyse → Gesteinsklassifizierung, Datierungen) - lokale Verdichtung und teufenabhängige Ergänzung der unter A1 bis A3 gewonnenen Datensätze.

Qualität: 3 Quantität: 3

B2 Geometrie

B2.1 Fernerkundung

B2.2 Geophysik (übertägig)

Verdichtung der unter A1.2 durchgeführten 2D-seismischen Messungen zur Bestimmung der Festgesteinsoberfläche sowie zu Struktur und Mächtigkeit der Lockerbedeckung (Reflexions- und/oder Refraktionsseismik); Verlauf und Anzahl (d.h. Profilabstand) der seismischen Profile wird anhand der Ergebnisse der flächenhaften Erkundung (siehe B1.2) festgelegt; zeichnen sich ein stärkeres Relief der Festgesteinsoberfläche oder stärker gestörte Lagerungsverhältnisse ab, sind 3D-seismische Messungen zu bevorzugen.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2 - 3

B2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Standardbohrlochmessprogramm: Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), magnetische Suszeptibilität, Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.3).

VSP-Messungen zur Verbesserung der Auswertung seismischer Messungen an der Oberfläche (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.3).

Qualität: 2 Quantität: 2

B2.4 Geol. Kartierung

B2.5 Bohrungen

Kernbohrungen im Deckgebirge sowie im Kristallin (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.5).

Qualität: 3 Quantität: 2

B2.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B2.7 Feldmessungen - Geochemie

B2.8 Feldmessungen - Geomechanik

B2.9 Labor

B2.10 Untertage Geophysik

B2.11 Untertage geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.11).

Qualität: 1 Quantität: 2

B2.12 Untertage Bohrungen

Kernbohrungen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.12).

Qualität: 3 Quantität: 2

B2.13 Untertage In-situ-Messungen**B2.14 Untertage Labor****B3 Makro-Struktur****B3.1 Fernerkundung****B3.2 Geophysik (übertägig)**

Flächenhafte gravimetrische und magnetische Erkundung von Störungen und Klüftzonen mit einem Punktabstand von maximal 200 m; quantitative Interpretation über Modellrechnungen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.2).

Vor der Durchführung neuer Messungen ist zu prüfen, ob bereits entsprechende Daten im Untersuchungsgebiet vorliegen.

Qualität: 3 Quantität: 3

Verdichtung der unter A1.2 durchgeführten 2D-seismischen Messungen zur Bestimmung der Festgesteinsoberfläche sowie zu Struktur und Mächtigkeit der Lockerbedeckung (Reflexions- und/oder Refraktionsseismik); Verlauf und Anzahl (d.h. Profilabstand) der seismischen Profile wird anhand der Ergebnisse der flächenhaften Erkundung (siehe B1.2) festgelegt; zeichnen sich ein stärkeres Relief der Festgesteinsoberfläche oder stärker gestörte Lagerungsverhältnisse ab, sind 3D-seismische Messungen zu bevorzugen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B2.2).

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2 - 3

Geoelektrische und/oder elektromagnetische Messungen zur Erfassung von Störungszonen im Deckgebirge; Methodenauswahl ist abhängig von Mächtigkeit und Leitfähigkeit des Deckgebirges; quantitative Interpretation der Ergebnisse (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.2).

Qualität: 3 Quantität: 3

Errichtung eines mikroseismischen Netzwerkes zur Erfassung seismologischer Ereignisse; in Abhängigkeit von den Bedingungen im Deckgebirge, kann es notwendig sein, das Netzwerk in Bohrlöchern bzw. unter Tage zu installieren (→ Gewinnung von Daten von Herdflächenlösungen).

Qualität: 3 Quantität: 3

B3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Standardbohrlochmessprogramm: Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), magnetische Suszeptibilität, Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.3).

VSP-Messungen zur Verbesserung der Auswertung seismischer Messungen an der Oberfläche (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.3).

Akustisches Bohrlochfernsehen und andere bildgebende Verfahren (z.B. optisches Fernsehen, Formation Microlmager).

Einsatz von Bohrlochradar für die Störungsverfolgung im weiteren Umfeld der Bohrung.

Ggf. crosshole-Tomographie (Georadar, seismisch) zur Erkundung von Störungsverläufen.

Qualität: 3 Quantität: 2 - 3

B3.4 Geol. Kartierung**B3.5 Bohrungen**

Kernbohrungen im Deckgebirge sowie Kristallin (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.5)

Qualität: 3 Quantität: 2

B3.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B3.7 Feldmessungen - Geochemie****B3.8 Feldmessungen - Geomechanik****B3.9 Labor****B3.10 Untertage Geophysik**

Radar- und/oder seismische Messungen von Strecken oder Bohrlöchern aus; ggf. crosshole-Messungen.

Qualität: 3 Quantität: 2 - 3

B3.11 Untertage geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.11).

Qualität: 3 Quantität: 2

B3.12 Untertage Bohrungen

Kernbohrungen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.12).

Qualität: 3 Quantität: 2

B3.13 Untertage In-situ-Messungen

In-situ-Messprogramm zur Bestimmung des untertägigen Deformationsverhaltens vom anstehenden Gebirge und im Bereich von aufgeschlossenen Störungszonen. Neben der Bestimmung von Matrixeigenschaften (vgl. B1.13) sind Teilbewegungen verschiedener Gesteinseinheiten an Störungszonen (z.B. Verschiebungs-(Fissurometer-)messungen an Klüften oder Rissen) zu erfassen. Bezüglich der Auswertung ist zu berücksichtigen, dass neben tektonischen Effekten auch Umwelteinflüsse (z.B. Temperatur-, Feuchtigkeitsänderungen) die Messungen beeinflussen können. Die Messdaten liefern die Basis für Rück- bzw. Prognoserechnungen mit einem daran zu kalibrierenden numerischen Rechenmodell.

Qualität: 3 Quantität: 2

B3.14 Untertage Labor**B4 Mikro-Struktur****B4.1 Fernerkundung****B4.2 Geophysik (übertägig)****B4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B4.4 Geol. Kartierung****B4.5 Bohrungen****B4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B4.7 Feldmessungen - Geochemie****B4.8 Feldmessungen - Geomechanik****B4.9 Labor**

Charakterisierung des Wirtsgesteins mittels Struktur- und Gefügeuntersuchungen in verschiedenen Maßstäben; mikroskopische Beschreibung des Porenraumes und dessen Geometrie sowie von Deformationsstrukturen auch hinsichtlich Transportmechanismen und Fließpfaden.

Qualität: 3 Quantität: 3

B4.10 Untertage Geophysik**B4.11 Untertage geol. Kartierung****B4.12 Untertage Bohrungen****B4.13 Untertage In-situ-Messungen****B4.14 Untertage Labor**

Charakterisierung des Wirtsgesteins mittels Struktur- und Gefügeuntersuchungen in verschiedenen Maßstäben; mikroskopische Beschreibung des Porenraumes und dessen Geometrie sowie von Deformationsstrukturen auch hinsichtlich Transportmechanismen und Fließpfaden (wie B4.9).

Qualität: 3 Quantität: 3

B5 In-situ-Spannungsverhältnisse**B5.1 Fernerkundung****B5.2 Geophysik (übertägig)****B5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

TelevIEWerbefahrung zur Detektierung von Bohrlochrandausbrüchen.

Qualität: 3 Quantität: 2

B5.4 Geol. Kartierung**B5.5 Bohrungen****B5.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B5.7 Feldmessungen - Geochemie****B5.8 Feldmessungen - Geomechanik**

Bestimmung des Spannungszustandes mittels hydraulic fracturing und Packerabdrucktests; Tests sowohl im Deckgebirge als auch im Wirtsgestein bzw. potenziellen Einlagerungshorizont; mehrere Einzelmessungen entlang eines Profils mit definiertem Abstand liefern Messdaten für ein Raummodell.

Qualität: 3 Quantität: 3

B5.9 Labor

Spannungsbestimmungen an Kernmaterial im Labor über Kernrelaxation bzw. Rekompaktion von Spannungsrissen (z.B. RACOS-Verfahren - für Details s. BRAUN et al. 1999); Adaption der Ergebnisse aus Feldmessungen und Laboruntersuchungen in ein geomechanisch / numerisches Modell.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B5.10 Untertage Geophysik

Nach bzw. während des Auffahrens der Strecken Errichtung eines mikroseismischen Netzwerkes untertage zur Erfassung spannungsbedingter Ereignisse → Lokalisierung von Spannungskonzentrationen mit bruchhaften Ereignissen.

Qualität: 3 Quantität: 3

B5.11 Untertage geol. Kartierung**B5.12 Untertage Bohrungen**

B5.13 Untertage In-situ-Messungen

Sondierungen in flachen Bohrungen - Teufe bis 20 m (z.B. hydraulic fracturing; Schlitzsonde); Verformungs- bzw. Kraftmessungen an Ausbaukomponenten z.B. über Druckkissen oder Extensometer - mehrere Einzelmessungen entlang eines Profils mit definiertem Abstand liefern Messdaten für ein Raummodell.

Qualität: 3 Quantität: 3

B5.14 Untertage Labor

Spannungsbestimmungen an Kernmaterial im Labor über Kernrelaxation bzw. Rekompaktion von Spannungsrissen (z.B. RACOS-Verfahren); Adaption der Ergebnisse aus Feldmessungen und Laboruntersuchungen in ein geomechanisch / numerisches Modell (Methoden wie B5.9, aber günstigere Messbedingungen).

Qualität: 3 Quantität: 2

B6 Mineralogie

B6.1 Fernerkundung

B6.2 Geophysik (übertägig)

B6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B6.4 Geol. Kartierung

B6.5 Bohrungen

B6.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B6.7 Feldmessungen - Geochemie

B6.8 Feldmessungen - Geomechanik

B6.9 Labor

Charakterisierung des Wirtsgesteins zur mineralogischen Zusammensetzung, z.B. Quarz-, Tonmineral-, Karbonatgehalt und Akzessorien sowie Verteilung der Komponenten; zusätzlich Bestimmung der Mineralogie von Kluffüllungen und Störungsmineralisationen (hinsichtlich Stofftransport, Lösung, Fällung); an Kernmaterial aber auch an Bohrklein möglich; geeignete qualitative und quantitative Methoden sind mineraloptische Untersuchungen (Dickschliff-, Dünnschliff-, Auflichtmikroskopie) und Röntgendiffraktometrie.

Qualität: 3 Quantität: 2

B6.10 Untertage Geophysik

B6.11 Untertage geol. Kartierung

B6.12 Untertage Bohrungen

B6.13 Untertage In-situ-Messungen

B6.14 Untertage Labor

Vervollständigung der Datensätze aus B6.9.

Qualität: 3 Quantität: 3

B7 Petrophysikalische Eigenschaften

B7a Gesteinsmechanik

B7a.1 Fernerkundung

B7a.2 Geophysik (übertägig)

B7a.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7a.4 Geol. Kartierung

B7a.5 Bohrungen

B7a.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7a.7 Feldmessungen - Geochemie

B7a.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7a.9 Labor

Durchführung von geotechnischen Laborversuchen in Form von Triaxial-, Uniaxial-, Spaltzug- und Scherversuchen an geeignetem Kernmaterial zur Bestimmung von gesteinsmechanischen Parametern von Matrix- und Trennflächeneigenschaften (z.B. Festigkeit, MOHR-COULOMB-Parameter); das Kernmaterial sollte sowohl aus dem Einlagerungshorizont im Wirtsgestein als auch aus den Deckgebirgsschichten stammen.

Bestimmung von gesteinsphysikalischen Parametern wie Dichte und Ultraschallgeschwindigkeiten sowie daraus abgeleiteter dynamisch elastischer Eigenschaften zur Charakterisierung der Wirtsgesteinseigenschaften an Kernmaterial aus definierten Teufenbereichen bzw. an Kernmaterial mit Materialwechsel / Schichtgrenzen.

Erarbeitung eines geomechanischen 3D-Modells.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B7a.10 Untertage Geophysik

B7a.11 Untertage geol. Kartierung

B7a.12 Untertage Bohrungen

B7a.13 Untertage In-situ-Messungen

In-situ-Messprogramm zur Bestimmung des untertägigen Deformationsverhaltens (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B3.13).

Qualität: 3 Quantität: 2

B7a.14 Untertage Labor

Vervollständigung der Datensätze aus B7a.9: Präzisierung des geomechanischen 3D-Modells.

Qualität: 3 Quantität: 3

B7b Hydraulisch (z.B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)

B7b.1 Fernerkundung

B7b.2 Geophysik (übertägig)

B7b.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7b.4 Geol. Kartierung

B7b.5 Bohrungen

B7b.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7b.7 Feldmessungen - Geochemie

B7b.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7b.9 Labor

Bestimmung der Porosität des Wirtsgesteins mittels laboranalytischer Methoden (Pyknometer-Porosität, Wasserverlust-Porosität, Diffusions-Porosität, geochemische Porosität); ebenso Bestimmung von Sättigung sowie Permeabilität des Wirtsgesteins; Maßstab: cm- bis dm-Bereich.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B7b.10 Untertage Geophysik

B7b.11 Untertage geol. Kartierung

B7b.12 Untertage Bohrungen

B7b.13 Untertage In-situ-Messungen

Kleinmaßstäbliche Permeabilitätsmessungen mittels Bohrlochsonden bzw. Oberflächenpackern.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B7b.14 Untertage Labor

Vervollständigung der Datensätze aus B7b.9.

Qualität: 3 Quantität: 3

B7c Diffusion

B7c.1 Fernerkundung

B7c.2 Geophysik (übertägig)

B7c.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7c.4 Geol. Kartierung

B7c.5 Bohrungen

B7c.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7c.7 Feldmessungen - Geochemie

B7c.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7c.9 Labor

Lithologie-spezifische Bestimmung von Diffusionsparametern der Gesteinsmatrix des Wirtsgesteins an Kernproben im cm- bzw. dm-Maßstab (Langzeituntersuchungen).

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1 - 2

B7c.10 Untertage Geophysik

B7c.11 Untertage geol. Kartierung

B7c.12 Untertage Bohrungen

B7c.13 Untertage In-situ-Messungen

B7c.14 Untertage Labor

Vervollständigung der Datensätze aus B7c.9 (Vorteil: bessere Probenahmemöglichkeit).

Qualität: 3 Quantität: 2

B7d Thermisch

B7d.1 Fernerkundung

B7d.2 Geophysik (übertägig)

B7d.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7d.4 Geol. Kartierung

B7d.5 Bohrungen

B7d.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7d.7 Feldmessungen - Geochemie

B7d.8 Feldmessungen - Geomechanik**B7d.9 Labor**

Bestimmung von Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität und Wärmeausdehnung an Kernproben im Labor.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 3

B7d.10 Untertage Geophysik**B7d.11 Untertage geol. Kartierung****B7d.12 Untertage Bohrungen****B7d.13 Untertage In-situ-Messungen**

Aufheizversuche in Bohrlöchern bzw. großskalige Erhitzeranordnungen zur Simulation der Einlagerung von wärmeproduzierenden Abfallgebinden.

Qualität: 3 Quantität: 1

B7d.14 Untertage Labor

Vervollständigung der Datensätze aus B7d.9 (Vorteil: bessere Probenahmemöglichkeit).

Qualität: 3 Quantität: 3

B7e THMC-Kopplung**B7e.1 Fernerkundung****B7e.2 Geophysik (übertägig)****B7e.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7e.4 Geol. Kartierung****B7e.5 Bohrungen****B7e.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7e.7 Feldmessungen - Geochemie****B7e.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7e.9 Labor**

Laboruntersuchungen zur Bestimmung von THMC-Eigenschaften unter definierten Randbedingungen (Nachteil: aufgelockertes Kernmaterial sowie skalenabhängige Repräsentativität).

Anmerkung: Aufgrund der wechselseitigen Überlagerung der verschiedenen Einflussparameter (z.B. Spannungsfeld, Porendruck, Feuchtigkeit, Sättigung, Temperatur und geochemisches Milieu) auf den zu charakterisierenden Prozess bzw. die daraus resultierende Eigenschaft, z.B. mechanische Festigkeit oder hydraulische Durchlässigkeit, gibt es keine experimentellen Standarduntersuchungsverfahren. Hinzu kommt, dass bestimmte Prozesse, z.B. poroelastische Effekte, wenn sie elastisch bedingt sind, bei Änderung der Randbedingungen spontane Effekte bewirken können (z.B. Zunahme des Porendrucks bei isostatischer Belastung einer wassergesättigten Probe) oder z.B. bei chemischen Reaktionen extrem zeitabhängig sind. In der Konsequenz handelt es sich bei diesen Untersuchungen in erster Linie um generische Untersuchungen zum grundsätzlichen Verständnis der Effekte, wobei eine standortspezifische Umsetzung der Ergebnisse, z.B. für die Bewertung untertägiger Messungen, nur über komplexe numerische Modellrechnungen erfolgen kann (vgl. B7e.11).

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B7e.10 Untertage Geophysik**B7e.11 Untertage geol. Kartierung**

B7e.12 Untertage Bohrungen**B7e.13 Untertage In-situ-Messungen**

Großskalige In-situ-Versuche zur Bestimmung von THMC-Eigenschaften unter repräsentativen Randbedingungen (Einbeziehung der Datensätze aus B7d.13): In Ergänzung der vorliegenden Labordatensätze sind insbesondere zur Bewertung möglicher Skaleneffekte langjährige Großversuche durchzuführen. Hierzu gehören z.B. Erhitzerversuche oder Testen von Abschlussbauwerken, bei denen unter realitätsnahen Bedingungen mit Änderung der Randparameter (z.B. Temperaturerhöhung oder hydraulische Belastung) eine Vielzahl von Messparametern (z.B. mechanische Dehnung, Temperatur, Feuchtigkeit, Durchlässigkeit, geochemische Kenngrößen), dreidimensional im Messfeld verteilt über einen längeren Zeitraum gemessen werden. Diese umfangreiche Datenbasis ist unerlässlich für eine Kalibrierung der numerischen Modellrechnungen, die eine Prognose des Einflusses von THMC-Prozessen auf die langzeitliche mechanische und hydraulische Integrität der geologischen Barriere während der Betriebsphase und nach Verschluss des Endlagers ermöglichen sollen.

Anmerkung: Aufgrund der Komplexität von THMC-Prozessen zielen die Untersuchungen nicht auf ein vollständiges, quantitatives Verständnis dieser Prozesse ab, sondern mit den Untersuchungen muss zumindest die Größenordnung der zu erwartenden Effekte infolge Auffahrung und Betrieb eines Endlagers aufgrund der daraus resultierenden veränderten Randbedingungen für den Nachweis der Langzeitsicherheit abschätz- und bewertbar sein.

Qualität: 3 Quantität: 1 - 2

B7e.14 Untertage Labor

Vervollständigung der Datenbasis aus B7e.9 (Im Gegensatz zur Bohrkerngewinnung aus tiefen Bohrungen können hier unter sehr viel günstigeren Bedingungen über Großbohrlöcher bzw. eine Großblockentnahme schonender und damit weniger sekundär durch Auflockerung beeinflusste Proben gewonnen werden.)

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B7f Chemische Eigenschaften (z.B. Oxidation, Adsorption)**B7f.1 Fernerkundung****B7f.2 Geophysik (übertägig)****B7f.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7f.4 Geol. Kartierung****B7f.5 Bohrungen****B7f.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7f.7 Feldmessungen - Geochemie****B7f.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7f.9 Labor**

Lithologie-spezifische Bestimmung von chemischen Parametern der Gesteinsmatrix des Wirtsgesteins bzw. des Deckgebirges an Kernproben im cm- bzw. dm-Maßstab (Langzeituntersuchungen).

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1 - 2

B7f.10 Untertage Geophysik**B7f.11 Untertage geol. Kartierung****B7f.12 Untertage Bohrungen**

B7f.13 Untertage In-situ-Messungen

Großskalige In-situ-Versuche unter repräsentativen Randbedingungen (Einbeziehung der Datensätze aus B7d.13).

Qualität: 3 Quantität: 1

B7f.14 Untertage Labor

Lithologie-spezifische Bestimmung von chemischen Parametern der Gesteinsmatrix des Wirtsgesteins an Kernproben im cm- bzw. dm-Maßstab (Langzeituntersuchungen).

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1 - 2

C Hydrogeologie des Wirtsgesteins und der Rahmengesteine (Feldmaßstab)

C1 Hydraulisch wirksame Einheiten

C1.1 Fernerkundung

C1.2 Geophysik (übertägig)

Geoelektrische und/oder elektromagnetische Messungen zur Charakterisierung des Deckgebirges und damit auch zur Erfassung der hydraulisch wirksamen Einheiten; Methodenauswahl ist abhängig von Mächtigkeit und Leitfähigkeit des Deckgebirges; quantitative Interpretation der Ergebnisse (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.2).

Qualität: 3 Quantität: 3

C1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Standardbohrlochmessprogramm: Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), magnetische Suszeptibilität, Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.3).

Qualität: 2 Quantität: 2

C1.4 Geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen und Beprobung von Wasseraustritten.

Qualität: 3 Quantität: 2

C1.5 Bohrungen

Kernbohrungen im Deckgebirge sowie Kristallin (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.5).

Qualität: 3 Quantität: 2

C1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil.

Qualität: 3 Quantität: 2

Interferenztest mit Multi-Packer-Beobachtungen.

Qualität: 3 Quantität: 2

C1.7 Feldmessungen - Geochemie

C1.8 Feldmessungen - Geomechanik

C1.9 Labor

C1.10 Untertage Geophysik

C1.11 Untertage geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.11).

Qualität: 3 Quantität: 2

C1.12 Untertage Bohrungen

Kernbohrungen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.12).

Qualität: 3 Quantität: 2

C1.13 Untertage In-situ-Messungen

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil.

Qualität: 3 Quantität: 2

C1.14 Untertage Labor

C2 Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein

C2.1 Fernerkundung

C2.2 Geophysik (übertägig)

C2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

C2.4 Geol. Kartierung

C2.5 Bohrungen

C2.6 Feldmessungen - Geohydraulik

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.6).

Qualität: 1 Quantität: 2

Multi-Packer-Beobachtungen

Qualität: 3 Quantität: 2

C2.7 Feldmessungen - Geochemie

C2.8 Feldmessungen - Geomechanik

C2.9 Labor

C2.10 Untertage Geophysik

C2.11 Untertage geol. Kartierung

C2.12 Untertage Bohrungen

C2.13 Untertage In-situ-Messungen

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.13).

Qualität: 1 Quantität: 2

Multi-Packer-Beobachtungen

Qualität: 3 Quantität: 2

C2.14 Untertage Labor

C3 Fließ- und Speicherparameter

C3.1 Fernerkundung

C3.2 Geophysik (übertägig)

C3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

C3.4 Geol. Kartierung

C3.5 Bohrungen

C3.6 Feldmessungen - Geohydraulik

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.6).

Qualität: 3 Quantität: 2

Interferenztest mit Multi-Packer-Beobachtungen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.6).

Qualität: 3 Quantität: 2

C3.7 Feldmessungen - Geochemie

C3.8 Feldmessungen - Geomechanik

C3.9 Labor

C3.10 Untertage Geophysik

C3.11 Untertage geol. Kartierung

C3.12 Untertage Bohrungen

C3.13 Untertage In-situ-Messungen

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.13).

Qualität: 3 Quantität: 2

C3.14 Untertage Labor

C4 Zwei-Phasenfluss-Parameter

C4.1 Fernerkundung

C4.2 Geophysik (übertägig)

C4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

C4.4 Geol. Kartierung

C4.5 Bohrungen

C4.6 Feldmessungen - Geohydraulik

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.6).

Qualität: 3 Quantität: 2

C4.7 Feldmessungen - Geochemie

C4.8 Feldmessungen - Geomechanik

C4.9 Labor

C4.10 Untertage Geophysik

C4.11 Untertage geol. Kartierung

C4.12 Untertage Bohrungen

C4.13 Untertage In-situ-Messungen

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.13).

Qualität: 3 Quantität: 2

C4.14 Untertage Labor

D Hydrochemie

D1 Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)

D1.1 Fernerkundung

D1.2 Geophysik (übertägig)

D1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

D1.4 Geol. Kartierung

D1.5 Bohrungen

D1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

D1.7 Feldmessungen - Geochemie

D1.8 Feldmessungen - Geomechanik

D1.9 Labor

Analyse stabiler Isotopen ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ und $^2\text{H}/^1\text{H}$) in Wasserproben vom Kristallin sowie Deckgebirge.

Analyse von Tritium (^3H) in allen Wasserproben, um Kontaminationen sowie das Eindringen jüngerer Wässer ins Deckgebirge zu erkennen.

Qualität: 3 Quantität: 2

Analyse von ^{14}C sowie stabiler Kohlenstoffisotopen ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) in ausgewählten Wasserproben mit geringer Kontamination (< 2%).

Qualität: 3 Quantität: 2

Analyse von ^{36}Cl in Wasserproben von der Endlagerteufe im Kristallin sowie vom unteren Teil des Deckgebirges, um die Vermischung des Grundwassers sowie die Residenzzeiten zu ermitteln. (Erforderlich sind auch Informationen zum U- sowie Th-Gehalt des Gesteins, um die natürliche Entstehung von ^{36}Cl zu berechnen.)

Qualität: 3 Quantität: 3

Analyse von Helium (^4He) in Wasserproben, die noch die gelösten Gase enthalten, um das Akkumulationsalter (erforderliche Zeit, nach welcher die gemessene Konzentration erreicht wird) zu bestimmen. (Erforderlich auch sind Informationen zum U- sowie Th-Gehalt des Gesteins, um die natürliche Entstehung von ^4He zu berechnen.)

Qualität: 3 Quantität: 2

D1.10 Untertage Geophysik

D1.11 Untertage geol. Kartierung

D1.12 Untertage Bohrungen

D1.13 Untertage In-situ-Messungen

D1.14 Untertage Labor

Analyse von Tritium (^3H) in Wasserzuflüssen, um das Eindringen jüngerer Wässer zu erkennen.

Qualität: 3 Quantität: 3

Analyse von ^{14}C sowie stabiler Kohlenstoffisotopen ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) in Wasserzuflüssen, um das Eindringen jüngerer Wässer zu erkennen

Qualität: 3 Quantität: 3

D2 Porenwasserchemismus

D2.1 Fernerkundung

D2.2 Geophysik (übertägig)

In Gebieten, in denen das Grundwasser stärker mineralisiert sein kann, können geoelektrische und/oder elektromagnetische Messungen zur Erfassung des Mineralisationsgrades im Deckgebirge herangezogen werden; Methodenauswahl ist abhängig von Mächtigkeit und Leitfähigkeit des Deckgebirges; quantitative Interpretation der Ergebnisse (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.2).

Qualität: 3 Quantität: 3

D2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Standardbohrlochmessprogramm: Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), magnetische Suszeptibilität, Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.3).

Qualität: 2 Quantität: 2

D2.4 Geol. Kartierung

D2.5 Bohrungen

D2.6 Feldmessungen - Geohydraulik

D2.7 Feldmessungen - Geochemie

Bestimmung der In-situ-Werte (pH, Eh, elektrische Leitfähigkeit, gelöster Sauerstoff, Temperatur) unter Anwendung einer Bohrlochsonde (z.B. SKB CHEMMAC-Probe oder JAEA Geochemical Probe) oder von Durchflusszellen für von abgepacketen Intervallen abgepumptes Wasser am Bohrlochkopf.

Qualität: 3 Quantität: 3

Analyse für redoxempfindliche gelöste Stoffe (Fe^{2+} , Fe^{3+} und HS^-) kurz nach der Beprobung; Beprobung am Bohrlochkopf des von einem abgepackten Intervall ausgepumpten Wassers

Qualität: 3 Quantität: 3

D2.8 Feldmessungen - Geomechanik**D2.9 Labor**

Analyse von Wasserproben vom Kristallin sowie vom Deckgebirge für gelöste Hauptstoffe (elektrische Leitfähigkeit, Na, K, Ca, Mg, Sr, Cl, SO₄, HCO₃, Br, organischer Kohlenstoff), Spurenelemente sowie gelöste Gase (bei Beprobung ohne Änderung des Wasserdruckes). Die Beprobung erfolgt durch Bohrlochsonde oder Pumpen von abgepackten Intervallen; die Proben werden so genommen, um eine geringe Kontamination mit Spülwasser zu gewährleisten (für Tonschichten im Deckgebirge werden Proben durch Laugung extrahiert und anschließend für einige nichtreaktive gelöste Stoffe analysiert (elektrische Leitfähigkeit, Cl⁻, Br⁻).

Qualität: 3 Quantität: 3

Mikrobiologische Analyse ausgewählter Proben.

Qualität: 3 Quantität: 3

Ausgewählte Proben werden für Isotope von U, Th, Ra sowie Rn analysiert.

Qualität: 3 Quantität: 2

D2.10 Untertage Geophysik**D2.11 Untertage geol. Kartierung****D2.12 Untertage Bohrungen****D2.13 Untertage In-situ-Messungen**

Messungen der Eh- sowie pH-Werte zufließender Wässer in Durchflusszellen.

Qualität: 3 Quantität: 3

D2.14 Untertage Labor

Analyse von Wasserproben von Bohrungen in wasserführenden Einheiten für gelöste Hauptstoffe (elektrische Leitfähigkeit, Na, K, Ca, Mg, Sr, Cl, SO₄, HCO₃, Br, organischer Kohlenstoff), Spurenelemente sowie redoxempfindliche gelöste Stoffe (Fe²⁺, Fe³⁺ und HS⁻).

Qualität: 3 Quantität: 3

Zeitreihenanalyse der Wasserproben (s.o.) für elektrische Leitfähigkeit, Cl⁻, ³H und ¹⁴C, um mögliche Änderungen der Quelle der jeweiligen Zuflüsse zu entdecken.

Qualität: 3 Quantität: 3

D3 Transporteigenschaften**D3.1 Fernerkundung****D3.2 Geophysik (übertägig)****D3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D3.4 Geol. Kartierung****D3.5 Bohrungen****D3.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

Tracertest mit unbekannten Randbedingungen.

Qualität: 1 Quantität: 2

D3.7 Feldmessungen - Geochemie**D3.8 Feldmessungen - Geomechanik**

D3.9 Labor

Beschreibung der Geometrie des Porenraumes, welche letztlich Transportprozesse wie Advektion und Diffusion bestimmt; Charakterisierung der Porosität des Wirtsgesteins (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B7b.9).

Qualität: 3 Quantität: 2

Bestimmung der Verteilungskoeffizienten (K_d oder R_d) für relevante Radionuklide an Proben des Wirtsgesteins (gesamtes Gestein sowie in Klüften enthaltene Mineralien) sowie des Deckgebirges.

Qualität: 3 Quantität: 3

D3.10 Untertage Geophysik**D3.11 Untertage geol. Kartierung****D3.12 Untertage Bohrungen****D3.13 Untertage In-situ-Messungen**

Tracertest: Randbedingungen bekannt, großer Maßstab.

Qualität: 3 Quantität: 2

D3.14 Untertage Labor

Bestimmung der Verteilungskoeffizienten (K_d oder R_d) für relevante Radionuklide oder analoge Elemente an untertägigen Proben des Wirtsgesteins - gesamtes Gestein sowie in Klüften enthaltene Mineralien.

Qualität: 3 Quantität: 3

D4 Kolloide usw.**D4.1 Fernerkundung****D4.2 Geophysik (übertägig)****D4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D4.4 Geol. Kartierung****D4.5 Bohrungen****D4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D4.7 Feldmessungen - Geochemie****D4.8 Feldmessungen - Geomechanik****D4.9 Labor**

Teilchen werden getrennt in Korngrößengruppen zwischen 1 Nanometer und 1 Mikrometer durch Ultrafiltration während der Entnahme von Wasserproben mit geringer Kontamination oder anderen Beeinflussungen gezählt sowie bzgl. ihrer mineralischen sowie chemischen Zusammensetzung analysiert; absorbierte gelöste Stoffe werden nach Laugung analysiert.

Qualität: 3 Quantität: 3

D4.10 Untertage Geophysik**D4.11 Untertage geol. Kartierung****D4.12 Untertage Bohrungen****D4.13 Untertage In-situ-Messungen**

D4.14 Untertage Labor

Intensivierte Umsetzung des in D4.9 praktizierten Messprogrammes über räumlich verteilte Messstellen.

Qualität: 3 Quantität: 3

Literatur

BRAUN, R., JAHNS, E. & STROMEYER, D. (1999): Ermittlung von Gebirgsstrukturen und -belastungen.
Erdöl Erdgas Kohle, Vol 115, No.4, S. 191-197.

Kristallin - mächtige Bedeckung		Erkundungs- methoden: 1-9 übertägig 10-14 untertägig	Fernerkundung	Geophysik (übertägig)	Geophysik (im Bohrloch)	Geol. Kartierung	Bohrungen	Feldmessungen - Geohydraulik	Feldmessungen - Geochemie	Feldmessungen - Geomechanik	Labor	Geophysik	geologische Kartierung	Bohrungen	In-situ- Messungen	Labor
Inhalte der Themenkomplexe		Bezeichnungen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Regionale Geologie (20 km*20 km)																
Wirtsgestein / Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)	A1															
Stratigraphie	A2															
Strukturgeologie und Tektonik (Störungsmuster, Faltung)	A3															
Regionales Spannungsfeld	A4															
Temperatur und Wärmeleitfähigkeit	A5															
Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z.B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)	A6															
Rohstoffvorkommen	A7															
Eigenschaften des Wirtsgesteins und der Rahmengesteine am Standort																
Lithologie	B1															
Geometrie (Tiefenlage, Ausdehnung)	B2															
Makro-Struktur (Großgefüge: Störungen / Faltungen / Deformationen / Klüfte)	B3															
Mikro-Struktur (Korngefüge / Porenstruktur)	B4															
In-situ-Spannungsverhältnisse	B5															
Mineralogie	B6															
Petrophysikalische Eigenschaften (Probenmaßstab):																
Gesteinsmechanik (z.B. Festigkeit, Kriechen)	B7a															
Hydraulik (z.B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)	B7b															
Diffusion	B7c															
Thermik	B7d															
THMC-Kopplung	B7e															
Chemismus (z.B. Oxidation, Adsorption)	B7f															
Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)																
Hydraulisch wirksame Einheiten	C1															
Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein	C2															
Fließ- und Speicherparameter	C3															
Zwei-Phasenfluss-Parameter	C4															
Hydrochemie																
Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)	D1															
Porenwasserchemismus	D2															
Transporteigenschaften	D3															
Kolloide usw.	D4															
			Erkundungsaktivität													

Anhang 14

Dokumentation der abgeleiteten Erkundung -
sonstige Gesteine unter Tonbedeckung

A Regionale Geologie (20 km×20 km)

Zielstellung der Erkundung - ausgehend vom Kenntnisstand nach Auswertung der regional vorhandenen Datenlage:

- Bestätigung der im AkEnd-Verfahrensschritt 3 angenommenen lateralen Ausdehnung des Wirtsgesteins bzw. des Deckgebirges
- Bestätigung der im AkEnd-Verfahrensschritt 3 angenommenen Lage von geologischen Merkmalen wie Großstörungen, die die zur Erkundung ausgewählte Standortregion (< 20 km×20 km) einschränken

Hinweis: Die gezielte Bereitstellung standortspezifischer Daten für die Langzeitsicherheitsanalyse bzw. die Untersuchung der bautechnischen Machbarkeit der Hohlraumerstellung unter den standortspezifischen Gegebenheiten erfolgt hauptsächlich durch die Erkundungen der Inhalte der Themenkomplexe B, C sowie D.

A1 Wirtsgestein/Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)**A1.1 Fernerkundung****A1.2 Geophysik**

Schritt 1: flächenhafte Erkundung der lateralen Ausdehnung des Wirtsgesteins sowie der angrenzenden Rahmengesteine und von Materialwechseln mit Gravimetrie und bei entsprechenden Gesteinseigenschaften mit Magnetik; Punktabstand ca. 500 m; quantitative Interpretation über Modellrechnungen

Vor der Durchführung neuer Messungen ist zu prüfen, ob bereits entsprechende Daten im Untersuchungsgebiet vorliegen.

Qualität: 3 Quantität: 2

Schritt 2: 2D-reflexionsseismische Messungen zur Bestimmung des Überganges Wirtsgestein / Rahmengesteine sowie zur Struktur und Mächtigkeit der überlagernden Lockerbedeckung; Aussagen zur Mächtigkeit des Wirtsgesteins

Verlauf und Anzahl (d.h. Profilabstand) der seismischen Profile werden anhand der Ergebnisse der flächenhaften Erkundung in Schritt 1 festgelegt

Vor der Durchführung neuer Messungen ist zu prüfen, ob bereits *seismische* Messungen im Untersuchungsgebiet vorliegen, die über Reprocessing einbezogen werden können.

Qualität: 2 Quantität: 2

A1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Nach geophysikalischer Oberflächenerkundung gezielter Ansatz von Bohrungen und Einsatz des Standardprogramms der Bohrlochmessung (Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), magnetische Suszeptibilität, Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur).

Qualität: 2 Quantität: 2

A1.4 Geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung des Deckgebirges sowie eventuell in der Region vorhandener Ausbisse der Wirts- und der Rahmengesteine.

Qualität: 3 Quantität: 2

A1.5 Bohrungen

Kernbohrungen im Deckgebirge sowie im Wirts- und Rahmengestein.

Qualität: 3 Quantität: 1

A1.6 Feldmessungen - Geohydraulik**A1.7 Feldmessungen - Geochemie****A1.8 Feldmessungen - Geomechanik****A1.9 Labor**

Untersuchungen an Oberflächenproben und Kernmaterial (Mineralbestand, Geochemie, Isotopenanalyse → Gesteinsklassifizierung, Datierungen).

Qualität: 3 Quantität: 2

A1.10 Untertage Geophysik**A1.11 Untertage geol. Kartierung****A1.12 Untertage Bohrungen****A1.13 Untertage In-situ-Messungen****A1.14 Untertage Labor****A2 Stratigraphie****A2.1 Fernerkundung****A2.2 Geophysik (übertägig)****A2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A2.4 Geol. Kartierung**

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung des Deckgebirges sowie eventuell in der Region vorhandener Ausbisse der Wirts- und der Rahmengesteine (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.4).

Qualität: 3 Quantität: 2

A2.5 Bohrungen**A2.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A2.7 Feldmessungen - Geochemie****A2.8 Feldmessungen - Geomechanik****A2.9 Labor**

Untersuchungen an Oberflächenproben und Kernmaterial (Mineralbestand, Geochemie, Isotopenanalyse → Gesteinsklassifizierung, Datierungen), (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.9).

Qualität: 3 Quantität: 2

A2.10 Untertage Geophysik**A2.11 Untertage geol. Kartierung****A2.12 Untertage Bohrungen****A2.13 Untertage In-situ-Messungen****A2.14 Untertage Labor**

A3 Strukturgeologie und Tektonik**A3.1 Fernerkundung****A3.2 Geophysik (übertägig)**

Schritt 1: flächenhafte Erkundung von Störungen und Klüftzonen mit Gravimetrie und bei entsprechenden Gesteinseigenschaften mit Magnetik; Punktabstand ca. 500 m; quantitative Interpretation über Modellrechnungen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.2)

Qualität: 3 Quantität: 2

Schritt 2: 2D-reflexionsseismische Messungen zur Erfassung von Störungszonen; Verlauf und Anzahl (d.h. Profilabstand) der seismischen Profile werden anhand der Ergebnisse der flächenhaften Erkundung in Schritt 1 festgelegt (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.2)

Qualität: 2 Quantität: 2

A3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Nach geophysikalischer Oberflächenerkundung gezielter Ansatz von Bohrungen und Einsatz des Standardprogramms der Bohrlochmessung (Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), magnetische Suszeptibilität, Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur), (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.3).

Qualität: 2 Quantität: 2

A3.4 Geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung des Deckgebirges sowie eventuell in der Region vorhandener Ausbisse des Wirtsgesteins bzw. der Rahmengesteine (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.4).

Qualität: 3 Quantität: 2

A3.5 Bohrungen**A3.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A3.7 Feldmessungen - Geochemie****A3.8 Feldmessungen - Geomechanik****A3.9 Labor**

Untersuchungen an Oberflächenproben und Kernmaterial (Texturanalyse z.B. U-Tisch, Neutronentextur).

Qualität: 3 Quantität: 2

A3.10 Untertage Geophysik**A3.11 Untertage geol. Kartierung****A3.12 Untertage Bohrungen****A3.13 Untertage In-situ-Messungen****A3.14 Untertage Labor**

A4 Regionales Spannungsfeld

A4.1 Fernerkundung

A4.2 Geophysik (übertägig)

A4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A4.4 Geol. Kartierung

A4.5 Bohrungen

A4.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A4.7 Feldmessungen - Geochemie

A4.8 Feldmessungen - Geomechanik

A4.9 Labor

A4.10 Untertage Geophysik

A4.11 Untertage geol. Kartierung

A4.12 Untertage Bohrungen

A4.13 Untertage In-situ-Messungen

A4.14 Untertage Labor

A5 Temperatur und Wärmeleitfähigkeit

A5.1 Fernerkundung

A5.2 Geophysik (übertägig)

A5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Temperaturmessungen in tiefen Bohrungen zur Bewertung des Temperaturgradienten im Deckgebirge und im Wirtsgestein.

Qualität: 3 Quantität: 2

A5.4 Geol. Kartierung

A5.5 Bohrungen

A5.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A5.7 Feldmessungen - Geochemie

A5.8 Feldmessungen - Geomechanik

A5.9 Labor

A5.10 Untertage Geophysik

A5.11 Untertage geol. Kartierung

A5.12 Untertage Bohrungen

A5.13 Untertage In-situ-Messungen

A5.14 Untertage Labor

A6 Geodynamik/Entwicklungsgeschichte (z.B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)

A6.1 Fernerkundung

A6.2 Geophysik (übertägig)

A6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A6.4 Geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung des Deckgebirges sowie eventuell in der Region vorhandener Ausbisse des Wirtsgesteins sowie der Rahmengesteine (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.4).

Qualität: 3 Quantität: 2

A6.5 Bohrungen**A6.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A6.7 Feldmessungen - Geochemie****A6.8 Feldmessungen - Geomechanik****A6.9 Labor**

Bestimmung des Konsolidationsgrades (z.B. infolge Eisauflast) von lokal vorkommenden plastischen Tonsteinen aus dem Deckgebirge („Spannungsgedächtnis“).

Qualität: 3 Quantität: 2

A6.10 Untertage Geophysik**A6.11 Untertage geol. Kartierung****A6.12 Untertage Bohrungen****A6.13 Untertage In-situ-Messungen****A6.14 Untertage Labor****A7 Rohstoffvorkommen**

Aufgrund des in Deutschland vorliegenden Kenntnisstandes bezüglich des möglichen Vorkommens gewinnungshöffiger Rohstoffe sind diesbezügliche zusätzliche Erkundungsmaßnahmen nicht erforderlich.

A7.1 Fernerkundung**A7.2 Geophysik (übertägig)****A7.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A7.4 Geol. Kartierung****A7.5 Bohrungen****A7.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A7.7 Feldmessungen - Geochemie****A7.8 Feldmessungen - Geomechanik****A7.9 Labor****A7.10 Untertage Geophysik****A7.11 Untertage geol. Kartierung****A7.12 Untertage Bohrungen****A7.13 Untertage In-situ-Messungen****A7.14 Untertage Labor**

B Eigenschaften des Wirtsgesteins und der Rahmengesteine am Standort**B1 Lithologie/Stratigraphie****B1.1 Fernerkundung****B1.2 Geophysik**

Flächenhafte gravimetrische und bei entsprechenden Gesteinseigenschaften magnetische Erkundung von Materialwechseln und damit Bestimmung der räumlichen Homogenität sowohl des Wirtsgesteins als auch des Deckgebirges mit einem Punktabstand von maximal 200 m; quantitative Interpretation über Modellrechnungen.

Vor der Durchführung neuer Messungen ist zu prüfen, ob bereits entsprechende Daten im Untersuchungsgebiet vorliegen.

Qualität: 3 Quantität: 3

B1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Standardbohrlochmessprogramm: Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), magnetische Suszeptibilität, Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur.

VSP-Messungen zur Verbesserung der Auswertung seismischer Messungen an der Oberfläche.

Qualität: 2 Quantität: 2

B1.4 Geol. Kartierung**B1.5 Bohrungen**

Kernbohrungen im Deckgebirge sowie Wirts- und Rahmengestein.

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B1.7 Feldmessungen - Geochemie****B1.8 Feldmessungen - Geomechanik****B1.9 Labor**

Untersuchungen an Oberflächenproben und Kernmaterial (Mineralbestand, Geochemie, Isotopenanalyse → Gesteinsklassifizierung, Datierungen) - *standortspezifische Verdichtung der Datensätze aus A1.9.*

Qualität: 3 Quantität: 3

B1.10 Untertage Geophysik**B1.11 Untertage geol. Kartierung**

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung.

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.12 Untertage Bohrungen

Kernbohrungen

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.13 Untertage In-situ-Messungen

In-situ-Messprogramm zur Bestimmung des untertägigen Deformationsverhaltens (Ausbruchsverhalten) für verschiedene stratigraphische Einheiten \Rightarrow z.B. Ausweisung von Homogenbereichen = lithologische Gesteinseinheiten mit vergleichbarem Deformationsverhalten (z.B. berührungslose Vermessung von Konvergenzmarken an der Gebirgskontur entlang einer Strecke, Extensometermessungen für verschiedene stratigraphische Einheiten in Bohrlöchern mit unterschiedlichen Teufenabständen zur Kontur).

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.14 Untertage Labor

Untersuchungen an Gesteinsproben (Mineralbestand, Geochemie, Isotopenanalyse \rightarrow Gesteinsklassifizierung, Datierungen) - lokale Verdichtung und teufenabhängige Ergänzung der unter A1 bis A3 gewonnenen Datensätze.

Qualität: 3 Quantität: 3

B2 Geometrie**B2.1 Fernerkundung****B2.2 Geophysik (übertägig)**

Verdichtung der unter A1.2 durchgeführten 2D-reflexionsseismischen Messungen zur Bestimmung der Wirtsgesteinsoberfläche sowie zu Struktur und Mächtigkeit der Lockerbedeckung; Verlauf und Anzahl (d.h. Profilabstand) der seismischen Profile werden anhand der Ergebnisse der flächenhaften Erkundung (siehe B1.2) festgelegt.

Qualität: 2 Quantität: 2

B2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Standardbohrlochmessprogramm: Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), magnetische Suszeptibilität, Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.3).

VSP-Messungen zur Verbesserung der Auswertung seismischer Messungen an der Oberfläche (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.3).

Qualität: 2 Quantität: 2

B2.4 Geol. Kartierung**B2.5 Bohrungen**

Kernbohrungen im Deckgebirge und im Wirtsgestein sowie den Rahmengesteinen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.5).

Qualität: 3 Quantität: 2

B2.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B2.7 Feldmessungen - Geochemie****B2.8 Feldmessungen - Geomechanik****B2.9 Labor****B2.10 Untertage Geophysik**

B2.11 Untertage geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.11).

Qualität: 1 Quantität: 2

B2.12 Untertage Bohrungen

Kernbohrungen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.12) - Aussagefähigkeit nur zum Wirtsgestein und nicht zu den Barrieregesteinen.

Qualität: 3 Quantität: 2

B2.13 Untertage In-situ-Messungen**B2.14 Untertage Labor****B3 Makro-Struktur****B3.1 Fernerkundung****B3.2 Geophysik (übertägig)**

Flächenhafte gravimetrische und bei entsprechenden Gesteinseigenschaften magnetische Erkundung von Störungen und Kluftzonen mit einem Punktabstand von maximal 200 m; quantitative Interpretation über Modellrechnungen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.2).

Vor der Durchführung neuer Messungen ist zu prüfen, ob bereits entsprechende Daten im Untersuchungsgebiet vorliegen.

Qualität: 3 Quantität: 3

Verdichtung der unter A1.2 durchgeführten 2D-reflexionsseismischen Messungen zur Bestimmung der Festgesteinsoberfläche sowie zu Struktur und Mächtigkeit der Lockerbedeckung; Verlauf und Anzahl (d.h. Profilabstand) der seismischen Profile werden anhand der Ergebnisse der flächenhaften Erkundung (siehe B1.2) festgelegt (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B2.2).

Qualität: 2 Quantität: 2

Erichtung eines mikroseismischen Netzwerkes zur Erfassung seismologischer Ereignisse; in Abhängigkeit von den Bedingungen im Deckgebirge kann es notwendig sein, das Netzwerk in Bohrlöchern bzw. untertage zu installieren (→ Gewinnung von Daten von Herdflächenlösungen).

Qualität: 3 Quantität: 3

B3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Standardbohrlochmessprogramm: Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), magnetische Suszeptibilität, Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.3).

VSP-Messungen zur Verbesserung der Auswertung seismischer Messungen an der Oberfläche (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.3).

Akustisches Bohrlochfernsehen und andere bildgebende Verfahren (z.B. optisches Fernsehen, Formation Microlmager).

In Abhängigkeit von den Eigenschaften des Wirtsgesteins Einsatz von Bohrlochradar für die Störungsverfolgung im weiteren Umfeld der Bohrung sowie ggf. crosshole-Tomographie (Georadar, seismisch) zur Erkundung von Störungsverläufen.

Qualität: 3 Quantität: 2 - 3

B3.4 Geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung des Deckgebirges sowie eventuell in der Region vorhandener Ausbisse (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.4) - Prognostizierbarkeit für den untertägigen Wirtsgesteinsbereich eingeschränkt.

Qualität: 2 Quantität: 2

B3.5 Bohrungen

Kernbohrungen im Deckgebirge und Wirtsgestein sowie den Rahmengesteinen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.5).

Qualität: 3 Quantität: 2

B3.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B3.7 Feldmessungen - Geochemie****B3.8 Feldmessungen - Geomechanik****B3.9 Labor****B3.10 Untertage Geophysik**

In Abhängigkeit von den Eigenschaften des Wirtsgesteins Radar- und/oder seismische Messungen von Strecken oder Bohrlöchern aus; ggf. crosshole-Messungen.

Qualität: 3 Quantität: 2 - 3

B3.11 Untertage geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.11).

Qualität: 3 Quantität: 2

B3.12 Untertage Bohrungen

Kernbohrungen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.12).

Qualität: 3 Quantität: 2

B3.13 Untertage In-situ-Messungen

In-situ-Messprogramm zur Bestimmung des untertägigen Deformationsverhaltens vom anstehenden Gebirge und im Bereich von aufgeschlossenen Störungszonen; neben der Bestimmung von Matrixeigenschaften (vgl. B1.13) sind Teilbewegungen verschiedener Gesteinseinheiten an Störungszonen (z.B. Verschiebungs-(Fissurometer-)messungen an Klüften oder Rissen) zu erfassen; bezüglich der Auswertung, ist zu berücksichtigen, dass neben tektonischen Effekten auch Umwelteinflüsse (z.B. Temperatur-, Feuchtigkeitsänderungen) die Messungen beeinflussen können; Messdaten liefern die Basis für Rück- bzw. Prognoserechnungen mit einem daran zu kalibrierenden numerischen Rechenmodell.

Qualität: 3 Quantität: 2

B3.14 Untertage Labor**B4 Mikro-Struktur****B4.1 Fernerkundung**

B4.2 Geophysik (übertägig)**B4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B4.4 Geol. Kartierung****B4.5 Bohrungen****B4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B4.7 Feldmessungen - Geochemie****B4.8 Feldmessungen - Geomechanik****B4.9 Labor**

Charakterisierung des Wirtsgesteins mittels Struktur- und Gefügeuntersuchungen in verschiedenen Maßstäben; mikroskopische Beschreibung des Porenraumes und dessen Geometrie sowie von Deformationsstrukturen auch hinsichtlich Transportmechanismen und Fließpfaden.

Qualität: 3 Quantität: 3

B4.10 Untertage Geophysik**B4.11 Untertage geol. Kartierung****B4.12 Untertage Bohrungen****B4.13 Untertage In-situ-Messungen****B4.14 Untertage Labor**

Charakterisierung des Wirtsgesteins mittels Struktur- und Gefügeuntersuchungen in verschiedenen Maßstäben; mikroskopische Beschreibung des Porenraumes und dessen Geometrie sowie von Deformationsstrukturen auch hinsichtlich Transportmechanismen und Fließpfaden (wie B4.9).

Qualität: 3 Quantität: 3

B5 In-situ-Spannungsverhältnisse**B5.1 Fernerkundung****B5.2 Geophysik (übertägig)****B5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

TelevIEWerbefahrung zur Detektierung von Bohrlochrandausbrüchen.

Qualität: 3 Quantität: 2

B5.4 Geol. Kartierung**B5.5 Bohrungen****B5.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B5.7 Feldmessungen - Geochemie****B5.8 Feldmessungen - Geomechanik**

Bestimmung des Spannungszustandes mittels hydraulic fracturing und Packerabdrucktests; Tests sowohl im Deckgebirge als auch im Wirtsgestein bzw. potenziellen Einlagerungshorizont; mehrere Einzelmessungen entlang eines Profils mit definiertem Abstand liefern Messdaten für ein Raummodell.

Qualität: 3 Quantität: 3

B5.9 Labor

B5.10 Untertage Geophysik

Nach bzw. während des Auffahrens der Strecken Errichtung eines mikroseismischen Netzwerkes untertage zur Erfassung spannungsbedingter Ereignisse → Lokalisierung von Spannungskonzentrationen mit bruchhaften Ereignissen.

Qualität: 3 Quantität: 3

B5.11 Untertage geol. Kartierung**B5.12 Untertage Bohrungen****B5.13 Untertage In-situ-Messungen**

Sondierungen in flachen Bohrungen - Teufe bis 20 m (z.B. hydraulic fracturing; Schlitzsonde); Verformungs- bzw. Kraftmessungen an Ausbaukomponenten z.B. über Druckkissen oder Extensometer - mehrere Einzelmessungen entlang eines Profils mit definiertem Abstand liefern Messdaten für ein Raummodell.

Qualität: 3 Quantität: 3

B5.14 Untertage Labor**B6 Mineralogie****B6.1 Fernerkundung****B6.2 Geophysik (übertägig)****B6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B6.4 Geol. Kartierung****B6.5 Bohrungen****B6.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B6.7 Feldmessungen - Geochemie****B6.8 Feldmessungen - Geomechanik****B6.9 Labor**

Charakterisierung des Wirtsgesteins bzw. der Rahmengesteine zur mineralogischen Zusammensetzung, z.B. Quarz-, Tonmineral-, Karbonatgehalt und Akzessorien sowie Verteilung der Komponenten; zusätzlich Bestimmung der Mineralogie von Kluftfüllungen und Störungsmineralisationen (hinsichtlich Stofftransport, Lösung, Fällung); an Kernmaterial aber auch an Bohrklein möglich; geeignete qualitative und quantitative Methoden sind mineraloptische Untersuchungen (Dickschliff-, Dünnschliff-, Auflichtmikroskopie) und Röntgendiffraktometrie.

Qualität: 3 Quantität: 2

B6.10 Untertage Geophysik**B6.11 Untertage geol. Kartierung****B6.12 Untertage Bohrungen****B6.13 Untertage In-situ-Messungen****B6.14 Untertage Labor**

Vervollständigung der Datensätze aus B6.9.

Qualität: 3 Quantität: 3

B7 Petrophysikalische Eigenschaften**B7a Gesteinsmechanik****B7a.1 Fernerkundung****B7a.2 Geophysik (übertägig)****B7a.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7a.4 Geol. Kartierung****B7a.5 Bohrungen****B7a.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7a.7 Feldmessungen - Geochemie****B7a.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7a.9 Labor**

Durchführung von geotechnischen Laborversuchen in Form von Triaxial-, Uniaxial-, Spaltzug- und Scherversuchen an geeignetem Kernmaterial zur Bestimmung von gesteinsmechanischen Parametern von Matrix- und Trennflächeneigenschaften (z.B. Festigkeit, MOHR-COULOMB-Parameter); das Kernmaterial sollte sowohl aus dem Einlagerungshorizont im Wirtsgestein als auch aus dem Rahmengestein bzw. den Deckgebirgsschichten stammen.

Bestimmung von gesteinsphysikalischen Parametern wie Dichte und Ultraschallgeschwindigkeiten sowie daraus abgeleiteter dynamisch elastischer Eigenschaften zur Charakterisierung der Eigenschaften an Kernmaterial aus definierten Teufenbereichen bzw. an Kernmaterial mit Materialwechsel / Schichtgrenzen.

Erarbeitung eines geomechanischen 3D-Modells.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B7a.10 Untertage Geophysik**B7a.11 Untertage geol. Kartierung****B7a.12 Untertage Bohrungen****B7a.13 Untertage In-situ-Messungen**

In-situ-Messprogramm zur Bestimmung des untertägigen Deformationsverhaltens (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B3.13).

Qualität: 3 Quantität: 2

B7a.14 Untertage Labor

Vervollständigung der Datensätze aus B7a.9: Präzisierung des geomechanischen 3D-Modells.

Qualität: 3 Quantität: 3

B7b Hydraulisch (z.B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)**B7b.1 Fernerkundung****B7b.2 Geophysik (übertägig)****B7b.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7b.4 Geol. Kartierung****B7b.5 Bohrungen****B7b.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7b.7 Feldmessungen - Geochemie**

B7b.8 Feldmessungen - Geomechanik**B7b.9 Labor**

Bestimmung der Porosität des Wirtsgesteins bzw. der Rahmengesteine mittels laboranalytischer Methoden (Pyknometer-Porosität, Wasserverlust-Porosität, Diffusions-Porosität, Geochemische Porosität); ebenso Bestimmung von Sättigung sowie Permeabilität des Wirtsgesteins; Maßstab: cm- bis dm-Bereich.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B7b.10 Untertage Geophysik**B7b.11 Untertage geol. Kartierung****B7b.12 Untertage Bohrungen****B7b.13 Untertage In-situ-Messungen**

Kleinmaßstäbliche Permeabilitätsmessungen mittels Bohrlochsonden bzw. Oberflächenpackern.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B7b.14 Untertage Labor

Vervollständigung der Datensätze aus B7b.9.

Qualität: 3 Quantität: 3

B7c Diffusion**B7c.1 Fernerkundung****B7c.2 Geophysik (übertägig)****B7c.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7c.4 Geol. Kartierung****B7c.5 Bohrungen**

Lithologie-spezifische Bestimmung von Diffusionsparametern der Gesteinsmatrix der Rahmengesteine (d.h. geologische Barriere) in Bohrlöchern (Langzeituntersuchungen mit Multi-Packeranordnungen).

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1 - 2

B7c.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B7c.7 Feldmessungen - Geochemie****B7c.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7c.9 Labor**

Lithologie-spezifische Bestimmung von Diffusionsparametern der Gesteinsmatrix der Rahmengesteine (d.h. geologische Barriere) an Kernproben im cm- bzw. dm-Maßstab (Langzeituntersuchungen).

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1 - 2

B7c.10 Untertage Geophysik**B7c.11 Untertage geol. Kartierung****B7c.12 Untertage Bohrungen****B7c.13 Untertage In-situ-Messungen****B7c.14 Untertage Labor**

B7d Thermisch**B7d.1 Fernerkundung****B7d.2 Geophysik (übertägig)****B7d.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7d.4 Geol. Kartierung****B7d.5 Bohrungen****B7d.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7d.7 Feldmessungen - Geochemie****B7d.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7d.9 Labor**

Bestimmung von Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität und Wärmeausdehnung an Kernproben im Labor.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 3

B7d.10 Untertage Geophysik**B7d.11 Untertage geol. Kartierung****B7d.12 Untertage Bohrungen****B7d.13 Untertage In-situ-Messungen**

Aufheizversuche in Bohrlöchern bzw. großskalige Erhitzeranordnungen zur Simulation der Einlagerung von wärmeproduzierenden Abfallgebinden

Qualität: 3 Quantität: 1

B7d.14 Untertage Labor**B7e THMC-Kopplung****B7e.1 Fernerkundung****B7e.2 Geophysik (übertägig)****B7e.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7e.4 Geol. Kartierung****B7e.5 Bohrungen****B7e.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7e.7 Feldmessungen - Geochemie****B7e.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7e.9 Labor**

Laboruntersuchungen zur Bestimmung von THMC-Eigenschaften unter definierten Randbedingungen (Nachteil: aufgelockertes Kernmaterial sowie skalenabhängige Repräsentativität).

Anmerkung: Aufgrund der wechselseitigen Überlagerung der verschiedenen Einflussparameter (z.B. Spannungsfeld, Porendruck, Feuchtigkeit, Sättigung, Temperatur und geochemisches Milieu) auf den zu charakterisierenden Prozess bzw. die daraus resultierende Eigenschaft, z.B. mechanische Festigkeit oder hydraulische Durchlässigkeit, gibt es keine experimentellen Standarduntersuchungsverfahren. Hinzu kommt, dass bestimmte Prozesse, z.B. poroelastische Effekte, wenn sie elastisch bedingt sind, bei Änderung der Randbedingungen spontane Effekte bewirken können (z.B. Zunahme des Porendrucks bei isostatischer Belastung einer wassergesättigten Probe) oder z.B. bei chemischen Reaktionen extrem zeitabhängig sind. In der Konsequenz handelt es sich bei diesen Untersuchungen in

erster Linie um generische Untersuchungen zum grundsätzlichen Verständnis der Effekte, wobei eine standortspezifische Umsetzung der Ergebnisse, z.B. für die Bewertung untertägiger Messungen, nur über komplexe numerische Modellrechnungen erfolgen kann (vgl. B7e.11).

Aufgrund der daraus resultierenden Komplexität werden zumeist an Kernproben ($\varnothing = 10$ bis 40 cm) der zu charakterisierenden Gesteinsformation unter einer definierten Einspannung einzelne Randbedingungen, wie z.B. der Porendruck oder geochemische Zustandsbedingungen, zur Initiierung von Fällungs- oder Lösungsreaktionen kontrolliert geändert und die integral gemessenen Eigenschaften (Festigkeit, Permeabilität) für verschiedene Bedingungen bestimmt. Auf Basis dieser experimentellen Untersuchungen werden empirische Zusammenhänge abgeleitet, die eine Basis für numerische Modellrechnungen liefern. Im Rahmen verschiedener EU-Projekte werden aktuell die vorhandenen numerischen Werkzeuge (z.B. TOUGH2) und Rechenansätze für verschiedene Gesteine (Theresa - Salzgestein; Timodaz - Tonstein) verglichen und bezüglich ihrer Eignung bewertet.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B7e.10 Untertage Geophysik

B7e.11 Untertage geol. Kartierung

B7e.12 Untertage Bohrungen

B7e.13 Untertage In-situ-Messungen

Großskalige In-situ-Versuche zur Bestimmung von THMC-Eigenschaften unter repräsentativen Randbedingungen (Einbeziehung der Datensätze aus B7d.13): In Ergänzung der vorliegenden Labordatensätze sind insbesondere zur Bewertung möglicher Skaleneffekte langjährige Großversuche durchzuführen. Hierzu gehören z.B. Erhitzerversuche oder Testen von Abschlussbauwerken, bei denen unter realitätsnahen Bedingungen mit Änderung der Randparameter (z.B. Temperaturerhöhung oder hydraulische Belastung) eine Vielzahl von Messparametern (z.B. mechanische Dehnung, Temperatur, Feuchtigkeit, Durchlässigkeit, geochemische Kenngrößen) dreidimensional im Messfeld verteilt über einen längeren Zeitraum gemessen werden. Diese umfangreiche Datenbasis ist unerlässlich für eine Kalibrierung der numerischen Modellrechnungen, die eine Prognose des Einflusses von THMC-Prozessen auf die langzeitliche mechanische und hydraulische Integrität der geologischen Barriere während der Betriebsphase und nach Verschluss des Endlagers ermöglichen sollen.

Anmerkung: Aufgrund der Komplexität von THMC-Prozessen zielen die Untersuchungen nicht auf ein vollständiges, quantitatives Verständnis dieser Prozesse ab, sondern mit den Untersuchungen muss zumindest die Größenordnung der zu erwartenden Effekte infolge Auffahrung und Betrieb eines Endlagers aufgrund der daraus resultierenden veränderten Randbedingungen für den Nachweis der Langzeitsicherheit abschätz- und bewertbar sein.

Qualität: 3 Quantität: 1 - 2

B7e.14 Untertage Labor

Vervollständigung der Datenbasis aus B7e.9 (Im Gegensatz zur Bohrkerngewinnung aus tiefen Bohrungen können hier unter sehr viel günstigeren Bedingungen über Großbohrlöcher bzw. eine Großblockentnahme schonender und damit weniger sekundär durch Auflockerung beeinflusste Proben gewonnen werden.)

Qualität: 2-3 Quantität: 2

B7f Chemische Eigenschaften (z.B. Oxidation, Adsorption)

B7f.1 Fernerkundung

B7f.2 Geophysik (übertägig)

B7f.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7f.4 Geol. Kartierung

B7f.5 Bohrungen

B7f.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7f.7 Feldmessungen - Geochemie**B7f.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7f.9 Labor**

Lithologie-spezifische Bestimmung von chemischen Parametern der Gesteinsmatrix des Wirtsgesteins bzw. der Rahmengesteine an Kernproben im cm- bzw. dm-Maßstab (Langzeituntersuchungen).

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1 - 2

B7f.10 Untertage Geophysik**B7f.11 Untertage geol. Kartierung****B7f.12 Untertage Bohrungen****B7f.13 Untertage In-situ-Messungen**

Großskalige In-situ-Versuche unter repräsentativen Randbedingungen (Einbeziehung der Datensätze aus B7d.13).

Qualität: 3 Quantität: 1

B7f.14 Untertage Labor

Lithologie-spezifische Bestimmung von chemischen Parametern der Gesteinsmatrix an Kernproben im cm- bzw. dm-Maßstab (Langzeituntersuchungen).

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1 - 2

C Hydrogeologie des Wirtsgesteins und der Rahmengesteine (Feldmaßstab)**C1 Hydraulisch wirksame Einheiten****C1.1 Fernerkundung****C1.2 Geophysik (übertägig)****C1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

Standardbohrlochmessprogramm: Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), magnetische Suszeptibilität, Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.3).

Qualität: 2 Quantität: 2

C1.4 Geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen und Beprobung von Wasseraustritten.

Qualität: 3 Quantität: 2

C1.5 Bohrungen

Kernbohrungen im Deckgebirge und im Wirtsgestein sowie Rahmengestein (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.5).

Qualität: 3 Quantität: 2

C1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil.

Qualität: 3 Quantität: 2

Interferenztest mit Multi-Packer-Beobachtungen.

Qualität: 3 Quantität: 2

C1.7 Feldmessungen - Geochemie**C1.8 Feldmessungen - Geomechanik****C1.9 Labor****C1.10 Untertage Geophysik**

In Abhängigkeit von den Eigenschaften des Wirtsgesteins Radar- und/oder seismische Messungen von Strecken oder Bohrlöchern aus zur Erkundung wasserführender Kluftsysteme; ggf. crosshole-Messungen.

Qualität: 3 Quantität: 2 - 3

C1.11 Untertage geol. Kartierung

Visuelle Aufnahme, Einmessen von Strukturen und Beprobung (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.11).

Qualität: 3 Quantität: 2

C1.12 Untertage Bohrungen

Kernbohrungen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.12).

Qualität: 3 Quantität: 2

C1.13 Untertage In-situ-Messungen

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil.

Qualität: 3 Quantität: 2

C1.14 Untertage Labor**C2 Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein****C2.1 Fernerkundung****C2.2 Geophysik (übertägig)****C2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C2.4 Geol. Kartierung****C2.5 Bohrungen****C2.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.6).

Qualität: 1 Quantität: 2

Multi-Packer-Beobachtungen

Qualität: 3 Quantität: 2

C2.7 Feldmessungen - Geochemie**C2.8 Feldmessungen - Geomechanik**

C2.9 Labor**C2.10 Untertage Geophysik****C2.11 Untertage geol. Kartierung****C2.12 Untertage Bohrungen****C2.13 Untertage In-situ-Messungen**

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.13).

Qualität: 1 Quantität: 2

Multi-Packer-Beobachtungen

Qualität: 3 Quantität: 2

C2.14 Untertage Labor**C3 Fließ- und Speicherparameter****C3.1 Fernerkundung****C3.2 Geophysik (überfällig)****C3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C3.4 Geol. Kartierung****C3.5 Bohrungen****C3.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.6).

Qualität: 3 Quantität: 2

Interferenztest mit Multi-Packer-Beobachtungen (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.6).

Qualität: 3 Quantität: 2

C3.7 Feldmessungen - Geochemie**C3.8 Feldmessungen - Geomechanik****C3.9 Labor****C3.10 Untertage Geophysik****C3.11 Untertage geol. Kartierung****C3.12 Untertage Bohrungen****C3.13 Untertage In-situ-Messungen**

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.13).

Qualität: 3 Quantität: 2

C3.14 Untertage Labor**C4 Zwei-Phasenfluss-Parameter****C4.1 Fernerkundung****C4.2 Geophysik (überfällig)**

C4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**C4.4 Geol. Kartierung****C4.5 Bohrungen****C4.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.6).

Qualität: 3 Quantität: 2

C4.7 Feldmessungen - Geochemie**C4.8 Feldmessungen - Geomechanik****C4.9 Labor****C4.10 Untertage Geophysik****C4.11 Untertage geol. Kartierung****C4.12 Untertage Bohrungen****C4.13 Untertage In-situ-Messungen**

Multiphase-Packertest mit Untertage-Schließventil (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.13).

Qualität: 3 Quantität: 2

C4.14 Untertage Labor**D Hydrochemie****D1 Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)****D1.1 Fernerkundung****D1.2 Geophysik (übertägig)****D1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D1.4 Geol. Kartierung****D1.5 Bohrungen****D1.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D1.7 Feldmessungen - Geochemie****D1.8 Feldmessungen - Geomechanik****D1.9 Labor**

Analyse stabiler Isotopen ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ und $^2\text{H}/^1\text{H}$) in Wasserproben vom Wirtsgestein und Rahmengestein sowie durch diffusiven Austausch für Proben aus der Tonbedeckung.

Qualität: 3 Quantität: 2

Analyse von Tritium (^3H) in allen Wasserproben, um Kontaminationen sowie das Eindringen jüngerer Wässer in das Deckgebirge zu erkennen.

Qualität: 2 Quantität: 1

Analyse von ^{14}C sowie stabiler Kohlenstoffisotopen ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) in ausgewählten Wasserproben mit geringer Kontamination ($< 2\%$) vom Wirtsgestein sowie permeablen Rahmengesteinen.

Qualität: 3 Quantität: 2

Analyse von ^{36}Cl in Wasserproben von der Endlagerteufe im Wirtsgestein sowie vom unteren Teil der Tonbedeckung, um die Vermischung des Grundwassers sowie die Residenzzeiten zu ermitteln. (Erforderlich sind auch Informationen zum U- sowie Th-Gehalt des Gesteins, um die natürliche Entstehung von ^{36}Cl zu berechnen.)

Qualität: 3 Quantität: 2

Analyse von Helium (^4He) in Wasserproben, die noch die gelösten Gase enthalten, um das Akkumulationsalter (erforderliche Zeit, nach welcher die gemessene Konzentration erreicht wird) zu bestimmen. (Erforderlich sind auch Informationen zum U- sowie Th-Gehalt des Gesteins, um die natürliche Entstehung von ^4He zu berechnen.); weiterhin Analyse von gelöstem Helium (^4He) in der Tonbedeckung (durch Vakuumextraktion von Kernen).

Qualität: 3 Quantität: 2

D1.10 Untertage Geophysik

D1.11 Untertage geol. Kartierung

D1.12 Untertage Bohrungen

D1.13 Untertage In-situ-Messungen

D1.14 Untertage Labor

Analyse von Tritium (^3H) in Wasserproben von Zuflüssen zum URL.

Qualität: 3 Quantität: 3

Analyse von ^{14}C sowie stabiler Kohlenstoffisotopen ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) in Wasserproben von Zuflüssen zum URL.

Qualität: 3 Quantität: 2

D2 Porenwasserchemismus

D2.1 Fernerkundung

D2.2 Geophysik (übertägig)

D2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Standardbohrlochmessprogramm: Widerstands- und Eigenpotenzialmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), magnetische Suszeptibilität, Akustiklog, Kaliber, Neigung, Temperatur (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.3).

Qualität: 2 Quantität: 2

D2.4 Geol. Kartierung

D2.5 Bohrungen

D2.6 Feldmessungen - Geohydraulik

D2.7 Feldmessungen - Geochemie

Bestimmung der In-situ-Werte (pH, Eh, elektrische Leitfähigkeit, gelöster Sauerstoff, Temperatur) unter Anwendung einer Bohrlochsonde (z.B. SKB CHEMMAC-Probe oder JAEA Geochemical Probe) oder von Durchflusszellen für von abgepackerten Intervallen abgepumptes Wasser am Bohrlochkopf.

Qualität: 3 Quantität: 3

Analyse für redoxempfindliche gelöste Stoffe (Fe^{2+} , Fe^{3+} und HS^-) kurz nach der Beprobung z.B. im Feldlabor; Beprobung am Bohrlochkopf des von einem abgepackerten Intervall abgepumpten Wassers.

Qualität: 3 Quantität: 2

D2.8 Feldmessungen - Geomechanik**D2.9 Labor**

Analyse von Wasserproben vom Wirtsgestein sowie von den Rahmengesteinen für gelöste Hauptstoffe (elektrische Leitfähigkeit, Na, K, Ca, Mg, Sr, Cl, SO₄, HCO₃, Br, organischer Kohlenstoff), Spurenelemente sowie gelöste Gase (bei Beprobung ohne Änderung des Wasserdruckes); Beprobung erfolgt durch Bohrlochsonde oder Pumpen von abgepackten Intervallen; die Proben werden so gewonnen, um eine geringe Kontamination mit Spülwasser zu gewährleisten (für Tonschichten werden Proben durch Laugung extrahiert und anschließend für einige nichtreaktive gelöste Stoffe analysiert - elektrische Leitfähigkeit, Cl⁻, Br⁻).

Qualität: 2 - 3 Quantität: 3

Mikrobiologische Analyse ausgewählter dafür konservierter Proben.

Qualität: 3 Quantität: 2

Ausgewählte dafür konservierte Proben werden für Isotope von U, Th, Ra sowie Rn analysiert.

Qualität: 3 Quantität: 2

D2.10 Untertage Geophysik**D2.11 Untertage geol. Kartierung****D2.12 Untertage Bohrungen****D2.13 Untertage In-situ-Messungen**

Messungen der Eh- sowie pH-Werte zufließender Wässer in Durchflussszellen.

Qualität: 3 Quantität: 3

D2.14 Untertage Labor

Analyse von Wasserproben von Bohrungen in wasserführenden Einheiten für gelöste Hauptstoffe (elektrische Leitfähigkeit, Na, K, Ca, Mg, Sr, Cl, SO₄, HCO₃, Br, organischer Kohlenstoff), Spurenelemente sowie für redoxempfindliche gelöste Stoffe (Fe²⁺, Fe³⁺ und HS⁻).

Qualität: 3 Quantität: 3

Zeitreihenanalyse der Wasserproben (s.o.) für elektrische Leitfähigkeit, Cl⁻, ³H und ¹⁴C, um mögliche Änderungen der Quelle der jeweiligen Zuflüsse zu bestimmen.

Qualität: 3 Quantität: 3

D3 Transporteigenschaften**D3.1 Fernerkundung****D3.2 Geophysik (übertägig)****D3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D3.4 Geol. Kartierung****D3.5 Bohrungen****D3.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

Tracertest mit unbekannten Randbedingungen.

Qualität: 1 Quantität: 2

D3.7 Feldmessungen - Geochemie**D3.8 Feldmessungen - Geomechanik**

D3.9 Labor

Beschreibung der Geometrie des Porenraumes, welche letztlich Transportprozesse wie Advektion und Diffusion bestimmt; Charakterisierung der Porosität des Wirtsgesteins (Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B7b.9).

Qualität: 3 Quantität: 2

Bestimmung der Verteilungskoeffizienten (K_d oder R_d) für relevante Radionuklide bzw. analoge Elemente an Proben des Wirtsgesteins sowie der Rahmengesteine.

Qualität: 3 Quantität: 3

D3.10 Untertage Geophysik**D3.11 Untertage geol. Kartierung****D3.12 Untertage Bohrungen****D3.13 Untertage In-situ-Messungen**

Tracertest: Randbedingungen bekannt, großer Maßstab.

Qualität: 3 Quantität: 2

D3.14 Untertage Labor

Bestimmung der Verteilungskoeffizienten (K_d oder R_d) für relevante Radionuklide bzw. analoge Elemente an Proben des Wirtsgesteins bzw. der Kluftmaterialien.

Qualität: 3 Quantität: 3

D4 Kolloide usw.**D4.1 Fernerkundung****D4.2 Geophysik (übertägig)****D4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D4.4 Geol. Kartierung****D4.5 Bohrungen****D4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D4.7 Feldmessungen - Geochemie****D4.8 Feldmessungen - Geomechanik****D4.9 Labor**

Teilchen werden getrennt in Korngrößengruppen zwischen 1 Nanometer und 1 Mikrometer durch Ultrafiltration während der Entnahme von Wasserproben mit geringer Kontamination oder anderen Beeinflussungen gezählt sowie bzgl. ihrer mineralischen sowie chemischen Zusammensetzung analysiert; absorbierte gelöste Stoffe werden nach Laugung analysiert.

Qualität: 3 Quantität: 3

D4.10 Untertage Geophysik**D4.11 Untertage geol. Kartierung****D4.12 Untertage Bohrungen****D4.13 Untertage In-situ-Messungen**

D4.14 Untertage Labor

Teilchen werden getrennt in Korngrößengruppen zwischen 1 Nanometer und 1 Mikrometer durch Ultrafiltration während der Entnahme von Wasserproben von Zuflüssen sowie von Bohrungen gezählt sowie bzgl. ihrer mineralischen sowie chemischen Zusammensetzung analysiert; absorbierte gelöste Stoffe werden nach Laugung analysiert; bei ausreichender Teilchenmengen werden auch Verteilungskoeffizienten bestimmt.

Qualität: 3 Quantität: 3

Sonstige Gesteine unter Tonbedeckung	Erkundungs- methoden: 1-9 übertägig 10-14 untertägig	Fernerkundung	Geophysik (übertägig)	Geophysik (im Bohrloch)	Geol. Kartierung	Bohrungen	Feldmessungen - Geohydraulik	Feldmessungen - Geochemie	Feldmessungen - Geomechanik	Labor	Geophysik	geologische Kartierung	Bohrungen	In-situ- Messungen	Labor
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Inhalte der Themenkomplexe	Bezeichnungen														
Regionale Geologie (20 km*20 km)															
Wirtsgestein / Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)	A1														
Stratigraphie	A2														
Strukturgeologie und Tektonik (Störungsmuster, Faltung)	A3														
Regionales Spannungsfeld	A4														
Temperatur und Wärmeleitfähigkeit	A5														
Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z.B. Eiszeitaufrost, Erosion, Seismizität)	A6														
Rohstoffvorkommen	A7														
Eigenschaften des Wirtsgesteins und der Rahmengesteine am Standort															
Lithologie	B1														
Geometrie (Tiefenlage, Ausdehnung)	B2														
Makro-Struktur (Großgefüge: Störungen / Faltungen / Deformationen / Klüfte)	B3														
Mikro-Struktur (Korngefüge / Porenstruktur)	B4														
In-situ-Spannungsverhältnisse	B5														
Mineralogie	B6														
Petrophysikalische Eigenschaften (Probenmaßstab):															
Gesteinsmechanik (z.B. Festigkeit, Kriechen)	B7a														
Hydraulik (z.B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)	B7b														
Diffusion	B7c														
Thermik	B7d														
THMC-Kopplung	B7e														
Chemismus (z.B. Oxidation, Adsorption)	B7f														
Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)															
Hydraulisch wirksame Einheiten	C1														
Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein	C2														
Fließ- und Speicherparameter	C3														
Zwei-Phasenfluss-Parameter	C4														
Hydrochemie															
Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)	D1														
Porenwasserchemismus	D2														
Transporteigenschaften	D3														
Kolloide usw.	D4														
Erkundungsaktivität															

Anhang 15

Dokumentation -
Erkundungsbergwerk Gorleben

Standort:	Gorleben (D)
Name - Typ:	Erkundungsbergwerk Gorleben - URL
Lage:	in der Nähe von Gorleben im Landkreis Lüchow-Dannenberg (Niedersachsen)
Betreiber:	Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)
Fläche:	Untertägiges Grubenfeld: 0,9 km in SE-NW-Richtung bzw. 0,5 km in SW-NE-Richtung
Erschließung / Teufenlage:	Zwei Schächte und Grubengebäude mit Infrastrukturbereich sowie Erkundungsbereiche auf einer Hauptsohle in einer Teufe von etwa 840 m
Geologie:	<p>Der NE-SW-streichende Salzstock Gorleben ist ca. 14 km lang und max. 4 km breit. Die Struktur setzt sich nordöstlich der Elbe als Salzstock Rambow mit reduzierter Breite über 16 km fort. Der Salzspiegel liegt bei ca. 250 m unter Gelände.</p> <p>Der weitaus größte Teil der Schichtenfolge besteht aus Steinsalz, jedoch spielen auch Anhydritgestein, Tonstein und Carnallitgestein eine Rolle. Homogene, zusammenhängende Steinsalzbereiche treten vor allem innerhalb der Staßfurt-Folge auf, die den Kern eines zentralen aufrechten Hauptsattels im Salzstock bildet.</p>
Historie:	<p>Die übertägige Erkundung des westlichen Teils der Struktur Gorleben-Rambow (390 km²) begann 1979 und endete 1985. Ab 1994 folgten flachseismische Messungen und von 1996 bis 1998 die Untersuchungen des östlichen Teils der Struktur. Die Gesamtfläche des Untersuchungsgebietes beträgt ca. 475 km².</p> <p>Das Abteufen der zwei Schächte erfolgte in den Jahren 1986 bis 1997 bzw. 1989 bis 1995. Ihre Fortsetzung fand die untertägige Erkundung mit der Auffahrung der Strecken für den Infrastrukturbereich und den Erkundungsbereich 1.</p> <p>Zum 01. Oktober 2000 wurden die Erkundungsarbeiten eingestellt.</p>

Erkundungsbergwerk Gorleben

Seit über 20 Jahren werden im Salzstock Gorleben geologische Untersuchungen durchgeführt, um die Eignung des Salzstockes als Endlager für radioaktive Abfälle zu untersuchen. Die Erkundung des Salzstockes im niedersächsischen Landkreis Lüchow-Dannenberg erfolgte von 1979 bis zum Beginn des politisch bedingten Moratoriums ab 01. Oktober 2000, welches die Einstellung aller Untersuchungen beinhaltet.

Das Untersuchungsprogramm bestand aus der übertägigen und untertägigen geologischen und bergmännischen Erkundung mit der Zielsetzung der Bearbeitung und Bewertung aller Fragen, die für eine spätere Eignungs- und Sicherheitsaussage notwendig sind.

Allerdings wurde nur der Erkundungsbereich 1 aufgefahren; dessen Erkundung ist aber noch nicht abgeschlossen. Insofern beschreiben die zur Verfügung stehenden Datensätze keine vollständige Erkundung.

A Regionale Geologie (20 km×20 km)

A1 Wirtsgestein/Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)

A1.1 Fernerkundung

A1.2 Geophysik

Seismik:

Erkundung der Flanke des Salzstocks 1980 mit Rx-Seismik. Anregung an der Oberfläche und Messungen in Tiefbohrungen.

Die Lage des Salzstocks, das Relief der Oberfläche des Salzstocks, die äußeren Umrisse und die Basis des Salzstocks mit Rx- und Ra-Seismik wurden 1984 bestimmt. Die gesamte Profillänge betrug 150 km.

1992 erfolgten Tests mit flachseismischen Messungen, die ergaben, dass mit solchen Messungen wesentliche Detailinformationen über die Oberfläche des Hutgesteins, den Verlauf quartärer Rinnen und die Lagerung der Schichten von Tertiär und Quartär gewonnen werden können.

JARITZ (1996)

Daraufhin wurden von 1994 bis 1997 hochauflösende Rx-seismische Messungen (Flachseismik) zur Erkundung der Lagerungsverhältnisse des Quartär und Tertiär und der Oberfläche des Salzstocks durchgeführt. Zusätzlich wurde mit Bohrlochgeophonen registriert. Die Gesamtprofillänge betrug 313 km.

KÖTHE et al. (2007)

1981 wurden auf einer 200 x 600 m großen Messfläche Testmessungen zur 3D-Seismik durchgeführt. Das eingesetzte MiniSose-Verfahren brachte nicht die gewünschte Verbesserung der Nutzsignale in den Gebieten mit schwierigen Ankopplungsbedingungen.

BGR (1991)

Qualität: 2 Quantität: 2

Gravimetrie:

1983 wurden im eigentlichen Salzstockbereich und im nordwestlichen Vorland Schweremessungen mit einem Punktabstand von 500 bis 1.000 m durchgeführt. Entlang zweier seismischen Linien erfolgte eine 2D-Modellierung zur besseren Erfassung des Verlaufes der Salzstockflanken.

BGR (1991)

1999 wurde im Auftrag des BfS zusätzlich noch eine 3D-Modellierung für den Salzstock Gorleben durchgeführt.

Qualität: 3 Quantität: 2

Geoelektrik / Elektromagnetik:

Die Erkundung der geologischen und hydrologischen Verhältnisse bis in eine Tiefe von ca. 350 m erfolgte 1980 ergänzend zu den Bohrungen mit Hilfe von insgesamt 540 geoelektrischen Tiefensonierungen nach SCHLUMBERGER auf 20 Profilen über dem Salzstock und in dessen direktem Umfeld. Der Kenntnisstand über die Quartärbasis sowie über den Verlauf und die Ausdehnung von quartären Rinnen konnte damit deutlich verbessert werden.

BGR (1991)

Zur Bestimmung der Süß-/Salzwassergrenze bzw. zur Erkundung oberflächennaher Grundwasserversalzen wurden außerdem elektromagnetische Messungen vom Hubschrauber aus durchgeführt.

KLINGE et al. (2007)

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

A1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Zur Beschreibung des Aquifersystems im Deckgebirge und zur Bestimmung von Salinitäts- und Dichteprofilen wurden folgende Messverfahren in den 106 Hauptbohrungen eingesetzt:

- Gamma-Strahlungsmessung
- Widerstandsmessung
- Formations-Dichte-Messung

Qualität: 2 Quantität: 1

A1.4 Geol. Kartierung

Quartärgeologische Kartierungen im Maßstab von in der Regel 1 : 25.000 (einige Gebiete 1 : 5.000) auf der Basis von Beprobungen (Peilstangen-Bohrungen).

BORNEMANN et al. (2003); KÖTHE et al. (2007)

Qualität: 3 Quantität: 2

A1.5 Bohrungen

Es wurden 281 Projektbohrungen abgeteuft; davon im Bereich Gorleben-Süd 219 (158 Aufschluss- und 44 Salzspiegelbohrungen) sowie in Dömitz-Lenzen 62 (27 Aufschluss-, 22 quartärgeologische Flach- und 13 Pumpversuchsbohrungen). Aufschlussbohrungen wurden (in Nebenbohrungen zum Pegelbau) teilgekernt; Flachbohrungen im Trockenbohrverfahren abgeteuft.

KÖTHE et al. (2007)

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1

Zusätzlich wurden 175 Fremdbohrungen für die geologischen und strukturellen Interpretationen ausgewertet.

KÖTHE et al. (2007)

Qualität: 2 Quantität: 1

A1.6 Feldmessungen - Geohydraulik**A1.7 Feldmessungen - Geochemie****A1.8 Feldmessungen - Geomechanik****A1.9 Labor****A1.10 Untertage Geophysik****A1.11 Untertage geol. Kartierung****A1.12 Untertage Bohrungen****A1.13 Untertage In-situ-Messungen****A1.14 Untertage Labor****A2 Stratigraphie****A2.1 Fernerkundung****A2.2 Geophysik (übertägig)****Geoelektrik / Elektromagnetik:**

Die Erkundung der geologischen und hydrologischen Verhältnisse bis in eine Tiefe von ca. 350 m erfolgte 1980 ergänzend zu den Bohrungen mit Hilfe von insgesamt 540 geoelektrischen Tiefensondierungen nach SCHLUMBERGER auf 20 Profilen über dem Salzstock und in dessen direktem Umfeld. Der Kenntnisstand über die Quartärbasis sowie über den Verlauf und die Ausdehnung von quartären Rinnen konnte damit deutlich verbessert werden.

BGR 1991

Zur Bestimmung der Süß-/Salzwassergrenze bzw. zur Erkundung oberflächennaher Grundwasserversalzen wurden außerdem elektromagnetische Messungen vom Hubschrauber aus durchgeführt.

KLINGE et al. (2007)

Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.2.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

A2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**A2.4 Geol. Kartierung****A2.5 Bohrungen**

Es wurden 281 Projektbohrungen abgeteuft; davon im Bereich Gorleben-Süd 219 (158 Aufschluss- und 44 Salzspiegelbohrungen) sowie in Dömitz-Lenzen 62 (27 Aufschluss-, 22 quartärgeologische Flach- und 13 Pumpversuchsbohrungen). Aufschlussbohrungen wurden (in Nebenbohrungen zum Pegelbau) teilgekernt; Flachbohrungen im Trockenbohrverfahren abgeteuft.

KÖTHE et al. (2007)

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1

Zusätzlich wurden 175 Fremdbohrungen für die geologischen und strukturgeologischen Interpretationen ausgewertet.

KÖTHE et al. (2007)

Qualität: 2 Quantität: 1

A2.6 Feldmessungen - Geohydraulik**A2.7 Feldmessungen - Geochemie****A2.8 Feldmessungen - Geomechanik****A2.9 Labor**

Im Zuge der übertägigen Erkundung mit Auswertung der gekernten Bohrungen (vgl. *Datensätze A2.5*) wurde eine feinstratigraphische Gliederung der Zechstein-Folgen sowie des Deckgebirges (d.h. Gips/Anhydritgestein) erstellt, die im Laufe der untertägigen Erkundung noch weiter präzisiert und unterlegt wurde.

BORNEMANN (1991)

Qualität: 2 Quantität: 2

A2.10 Untertage Geophysik**A2.11 Untertage geol. Kartierung****A2.12 Untertage Bohrungen****A2.13 Untertage In-situ-Messungen****A2.14 Untertage Labor****A3 Strukturgeologie und Tektonik****A3.1 Fernerkundung****A3.2 Geophysik (übertägig)**Seismik:

Erkundung der Flanke des Salzstockes 1980 mit Rx-Seismik. Anregung an der Oberfläche und Messung in Tiefbohrungen.

Die Lage des Salzstockes, das Relief der Oberfläche des Salzstockes, die äußeren Umrisse und die Basis des Salzstockes mit Rx- und Ra-Seismik wurden 1984 bestimmt. Die gesamte Profillänge betrug 150 km.

1994 bis 1997 erfolgte hochauflösende Rx-Seismik (Flachseismik) zur Erkundung der Lagerungsverhältnisse des Quartär und Tertiär und der Oberfläche des Salzstockes. Zusätzlich wurde mit Bohrlochgeophonen registriert. Die Gesamtprofillänge betrug 313 km.

KÖTHE et al. (2007)

Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.2.

Qualität: 2 Quantität: 2

Informationen zum Liegenden des Salzstockes wurden mit Hilfe von speziellen seismischen (Steilwinkelseismik aus früheren Erdöl-/Erdgaserkundungen), gravimetrischen, magnetischen und magnetotellurischen Messergebnissen gewonnen.

KÖTHE et al. (2007)

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1 - 2

Qualität: bei der Interpretation wurden auch 3D-Modellierungen eingesetzt, jedoch mit überregionalem Ansatz und deshalb 2 - 3; Aussage zur Quantität ist unsicher, da keine konkreten Angaben zum Umfang vorliegen.

A3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**A3.4 Geol. Kartierung****A3.5 Bohrungen**

Es wurden 281 Projektbohrungen abgeteuft. Im Bereich Gorleben-Süd davon 219 (158 Aufschluss- und 44 Salzspiegelbohrungen) sowie in Dömitz-Lenzen 62 (27 Aufschluss-, 22 quartärgeologische Flach- und 13 Pumpversuchsbohrungen). Aufschlussbohrungen wurden (in Nebenbohrungen zum Pegelbau) teilgekernt. Flachbohrungen wurden im Trockenbohrverfahren abgeteuft.

KÖTHE et al. (2007)

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1

5 Bohrungen wurden zu strukturellen Untersuchungen des Überganges zwischen den Salzstöcken Gorleben und Rambow abgeteuft.

BORNEMANN et al. (2003)

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1

Zusätzlich wurden 175 Fremdbohrungen für die geologischen und strukturellen Interpretationen ausgewertet.

KÖTHE et al. (2007)

Qualität: 2 Quantität: 1

A3.6 Feldmessungen - Geohydraulik**A3.7 Feldmessungen - Geochemie****A3.8 Feldmessungen - Geomechanik****A3.9 Labor****A3.10 Untertage Geophysik****A3.11 Untertage geol. Kartierung****A3.12 Untertage Bohrungen****A3.13 Untertage In-situ-Messungen****A3.14 Untertage Labor****A4 Regionales Spannungsfeld****A4.1 Fernerkundung****A4.2 Geophysik (überflächlich)****A4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A4.4 Geol. Kartierung****A4.5 Bohrungen****A4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A4.7 Feldmessungen - Geochemie****A4.8 Feldmessungen - Geomechanik****A4.9 Labor**

A4.10 Untertage Geophysik**A4.11 Untertage geol. Kartierung****A4.12 Untertage Bohrungen****A4.13 Untertage In-situ-Messungen****A4.14 Untertage Labor****A5 Temperatur und Wärmeleitfähigkeit****A5.1 Fernerkundung****A5.2 Geophysik (übertägig)****A5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

Hoch auflösende Temperaturlogs wurden in 116 Bohrungen gemessen, um zum einen die geothermische Charakterisierung des Salzstockes Gorleben zu ermöglichen und zum anderen ergänzende Informationen über Grundwasserbewegungen im tieferen Untergrund gewinnen zu können. Über die ermittelte Sedimentzusammensetzung (Sand-, Ton- und Wassergehalt) und mit Hilfe von Labordaten der Wärmeleitfähigkeit der Matrixkomponenten konnten detaillierte Profile der Sedimentwärmeleitfähigkeiten erstellt werden.

Qualität: 2 Quantität: 1

A5.4 Geol. Kartierung**A5.5 Bohrungen****A5.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A5.7 Feldmessungen - Geochemie****A5.8 Feldmessungen - Geomechanik****A5.9 Labor****A5.10 Untertage Geophysik****A5.11 Untertage geol. Kartierung****A5.12 Untertage Bohrungen****A5.13 Untertage In-situ-Messungen****A5.14 Untertage Labor****A6 Geodynamik/Entwicklungsgeschichte (z.B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)****A6.1 Fernerkundung****A6.2 Geophysik (übertägig)**

Seit 1986 gibt es eine kontinuierliche Erdbebenüberwachung des Raumes Gorleben. Das Netz besteht aus sechs Bohrlochstationen, deren Vertikalseismometer in einem Fünfeck (Durchmesser ca. 20 km) um die im Mittelpunkt liegende Dreikomponenten-Station angeordnet sind. Die Seismometer sind wegen der hohen Bodenunruhe an der Erdoberfläche, bedingt durch dicke Schichten mit Lockersedimenten, in 300 m Teufe installiert. Über Standleitungen sind die Stationen mit der Registrierzentrale in Trebel nahe Gorleben verbunden. Die einlaufenden Seismometerdaten werden mittels eines Kurzzeit-Langzeit-Detektors in Verbindung mit einem Koinzidenz-Trigger auf seismische Ereignisse überprüft; erkannte Ereignisse werden digital gespeichert. Neben regionalen Erdbeben wurden seismische Ereignisse im

Umkreis von 100 km registriert, die überwiegend von Sprengarbeiten im Gebiet der ehemaligen DDR verursacht wurden. Es traten nur wenige Erdbeben natürlichen Ursprungs im Umkreis von 50 km auf; Lokal-Magnituden lagen zwischen 0,9 und 1,6. Der Salzstock selbst zeigte keine Erdbebenaktivität im Beobachtungszeitraum bis April 1991. Für die Ableitung belastbarer Aussagen bei der Interpretation der mikroseismischen Messungen wird eine Fortsetzung der Messungen empfohlen.

BGR (1991)

Qualität: 3 Quantität: 3

A6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A6.4 Geol. Kartierung

Quartärgeologische Kartierungen im Maßstab in der Regel 1 : 25.000 (einige Gebiete 1 : 5.000) auf der Basis von Beprobungen (Peilstangen-Bohrungen).

BORNEMANN et al. (2003); KÖTHE et al. (2007)

Qualität: 3 Quantität: 2

A6.5 Bohrungen

Es wurden 281 Projektbohrungen abgeteuft; davon im Bereich Gorleben-Süd 219 (158 Aufschluss- und 44 Salzspiegelbohrungen) sowie in Dömitz-Lenzen 62 (27 Aufschluss-, 22 quartärgeologische Flach- und 13 Pumpversuchsbohrungen). Aufschlussbohrungen wurden (in Nebenbohrungen zum Pegeleinbau) teilgekernt; Flachbohrungen im Trockenbohrverfahren abgeteuft.

KÖTHE et al. (2007)

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1

Zusätzlich wurden 175 Fremdbohrungen für die geologischen und strukturgeologischen Interpretationen ausgewertet.

KÖTHE et al. (2007)

Qualität: 2 Quantität: 1

A6.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A6.7 Feldmessungen - Geochemie

A6.8 Feldmessungen - Geomechanik

A6.9 Labor

A6.10 Untertage Geophysik

A6.11 Untertage geol. Kartierung

A6.12 Untertage Bohrungen

A6.13 Untertage In-situ-Messungen

A6.14 Untertage Labor

A7 Rohstoffvorkommen

A7.1 Fernerkundung

A7.2 Geophysik (übertägig)

A7.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**A7.4 Geol. Kartierung****A7.5 Bohrungen****A7.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A7.7 Feldmessungen - Geochemie****A7.8 Feldmessungen - Geomechanik****A7.9 Labor****A7.10 Untertage Geophysik****A7.11 Untertage geol. Kartierung****A7.12 Untertage Bohrungen****A7.13 Untertage In-situ-Messungen****A7.14 Untertage Labor*****B Eigenschaften des Wirtsgesteins und der Rahmengesteine am Standort*****B1 Lithologie/Stratigraphie****B1.1 Fernerkundung****B1.2 Geophysik***Geoelektrik / Elektromagnetik:*

Die Erkundung der geologischen und hydrologischen Verhältnisse bis in eine Tiefe von ca. 350 m erfolgte 1980 ergänzend zu den Bohrungen mit Hilfe von insgesamt 540 geoelektrischen Tiefensondierungen nach SCHLUMBERGER auf 20 Profilen über dem Salzstock und in dessen direktem Umfeld. Der Kenntnisstand über die Quartärbasis sowie über den Verlauf und die Ausdehnung von quartären Rinnen konnte damit deutlich verbessert werden.

BGR (1991)

Zur Bestimmung der Süß-/Salzwassergrenze bzw. zur Erkundung oberflächennaher Grundwasserversalzen wurden außerdem elektromagnetische Messungen vom Hubschrauber aus durchgeführt.

KLINGE et al. (2007)

Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.2.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Zur Ermittlung von Grundlagendaten am Standort, insbesondere für die Beschreibung des Aquifersystems im Deckgebirge und von Grundwasserbewegungen wurden folgende Messverfahren eingesetzt:

- Gamma-Strahlungsmessung (Gamma-Ray-Log, GR-Log)
- Fokussierte Widerstandsmessung (Focussed-Electric-Log, FEL-Log)
- Induktions-Leitfähigkeitsmessung (Induktionslog)
- Eigenpotenzialmessung (Spontaneous-Potential-Log, SP-Log)
- Aufzeichnung des Bohrlochdurchmessers (Kaliber-Log)
- Formations-Dichte-Messung (Gamma-Gamma-Log)

- Neutron-Porositätsmessung (Neutron-Log)
- Sonic-Log
- Wasserleitfähigkeits- und Temperaturmessung (Salinometer-Temperatur-Log)
- Bohrloch-Vertikalitätsmessung
- In-situ-Wasserdruckmessung

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B1.4 Geol. Kartierung

B1.5 Bohrungen

44 Salzspiegelbohrungen, nur mit Spülproben bis zum Hutgestein, im Hut- sowie Salzgestein gekernt.

BORNEMANN et al. (2003)

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1

4 Tiefbohrungen in den Salzstockflanken bis rund 2.000 m - gekernt vom Hutgestein zur Endteufe.

BORNEMANN et al. (2003)

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1

2 gekernte Schachtvorbohrungen bis knapp 1.000 m.

BORNEMANN, O. et al. 2003)

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B1.7 Feldmessungen - Geochemie

Die Analyse im Salz vorkommender Lösungen ist von großer Bedeutung für die stratigraphische Zuordnung und Gesteinsgenese (s. B6.14).

Qualität: 3 Quantität: 2

(Die Arbeiten wurden nach dem Gorleben-Moratorium eingestellt und sind nicht abgeschlossen)

B1.8 Feldmessungen - Geomechanik

B1.9 Labor

Die Kenntnis über Aufbau und Zusammensetzung des Deckgebirges basiert überwiegend auf den Beschreibungen von Bohrproben. Darüber hinaus wurden im Labor noch verschiedene Untersuchungen durchgeführt, wie Kornverteilungen, Porositätsbestimmungen, bodenmechanische Versuche zur Porosität und Wasserdurchlässigkeit, Kies-, Schwermineral- und Tonmineralanalyse.

Zur Klärung des geologischen Aufbaus der quartärzeitlichen Deckschichten wurden zusätzlich palynologische Untersuchungen eingesetzt. In Tertiär- und Kreideablagerungen wurden mikropaläontologische Arbeiten durchgeführt.

BGR (1990)

Qualität: 1 Quantität: 2 (Standarduntersuchungen)

B1.10 Untertage Geophysik**B1.11 Untertage geol. Kartierung**

Abteufen der 2 Schächte (Teufe > 900 m, Durchmesser 7,5 m) - Kartierung der Schachtstöße im Maßstab 1 : 50 während des Vortriebs.

BORNEMANN et al. (2003)

Qualität: 2 Quantität: 1

Detaillierte Stoß- und Firstkartierung der Kammern und Strecken im Maßstab 1 : 100 während des Vortriebs. Kartierungsschrittlängen 13 bis 45 m (Länge insgesamt > 4,7 km). Streckenquerschnitte liegen zwischen 70 m² in den Infrastrukturräumen und 23 m² in den Strecken. Messungen wurden durchgeführt. Probenahme erfolgte nur bei der Streckenauffahrung in den Erkundungsbereichen.

BORNEMANN et al. (2002 + 2003); HAMPE & KUTOWSKI (2002)

Auf Basis der Messungen wurde mittels eines CAD-Programms ein 3D-Modell der Salzstruktur erstellt.

BORNEMANN et al. (2002)

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B1.12 Untertage Bohrungen

47 Erkundungsbohrungen zur Erstellung des geologischen Modells, die in der Regel als Kernbohrungen erstellt wurden.

BORNEMANN et al. (2002); KUTOWSKI (2002)

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.13 Untertage In-situ-Messungen**B1.14 Untertage Labor**

Im Zuge der Bohr-, Teuf- und Aufführungsarbeiten sowie der umfangreichen Laborbearbeitung des Stoffbestandes und seiner Entwicklung für die aufgeschlossenen Salzgesteine (vgl. B6.14) wurde in Teilbereichen des Salinars eine neue feinstratigraphische Gliederung der Zechstein-Folgen erstellt, die mit Einschränkungen für das gesamte Zechsteinbecken Gültigkeit besitzt.

BORNEMANN et al. (2002 + 2003)

Qualität: 3 Quantität: 3

Gleiche Datensätze wie bei B6.14

Qualität: 3 Quantität: 2

(Die Arbeiten wurden nach dem Gorleben-Moratorium eingestellt und sind nicht abgeschlossen.)

B2 Geometrie**B2.1 Fernerkundung**

B2.2 Geophysik (übertägig)

Seismik:

Erkundung der Flanke des Salzstockes 1980 mit Rx-Seismik. Anregung an der Oberfläche und Messungen in Tiefbohrungen.

Die Lage des Salzstockes, das Relief der Oberfläche des Salzstockes, die äußeren Umrisse und die Basis des Salzstockes mit Rx- und Ra-Seismik wurden 1984 bestimmt. Die gesamte Profillänge betrug 150 km.

1994 bis 1997 erfolgte hochauflösende Rx-Seismik (Flachseismik) zur Erkundung der Lagerungsverhältnisse des Quartär und Tertiär und der Oberfläche des Salzstockes. Zusätzlich wurde mit Bohrlochgeophonen registriert. Die Gesamtprofillänge betrug 313 km.

KÖTHE et al. (2007)

Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.2.

Qualität: 2 Quantität: 2

Gravimetrie:

1983 wurden im eigentlichen Salzstockbereich und im nordwestlichen Vorland Schweremessungen mit einem Punktabstand von 500 bis 1.000 m durchgeführt. Entlang zweier seismischer Linien erfolgte eine 2D-Modellierung zur besseren Erfassung des Verlaufes der Salzstockflanken.

BGR (1991)

1999 wurde im Auftrag des BfS zusätzlich noch eine 3D-Modellierung für den Salzstock Gorleben durchgeführt.

Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.2.

Qualität: 3 Quantität: 2

B2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B2.4 Geol. Kartierung

B2.5 Bohrungen

44 Salzspiegelbohrungen, nur mit Spülproben bis zum Hutgestein, im Hut- sowie Salzgestein gekernt.

BORNEMANN et al. (2003)

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1

4 Tiefbohrungen in den Salzstockflanken bis ca. 2.000 m - gekernt vom Hutgestein zur Endteufe.

BORNEMANN et al. (2003)

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1

2 gekernte Schachtvorbohrungen bis knapp 1.000 m.

BORNEMANN et al. (2003)

Qualität: 3 Quantität: 2

B2.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B2.7 Feldmessungen - Geochemie

B2.8 Feldmessungen - Geomechanik**B2.9 Labor**

Gleiche Datensätze wie bei B6.9.

Qualität: 2 Quantität: 2

(Vorläufiges Salzstockmodell, das erst durch die untertägige Erkundung präzisiert und vervollständigt wurde.)

B2.10 Untertage Geophysik

Erkundung von Schichtgrenzen und Strukturen am Standort mit Hilfe von elektromagnetischen Reflexionsmessungen (EMR), durchgeführt in Schächten, Strecken und Bohrungen.

BORNEMANN (2002)

Qualität: 2 - 3 Quantität: 3

B2.11 Untertage geol. Kartierung

Abteufen der 2 Schächte (Teufe > 900 m, Durchmesser 7,5 m) - Kartierung der Schachtstöße im Maßstab 1 : 50 während des Vortriebs.

BORNEMANN et al. (2003)

Qualität: 2 Quantität: 1

Detaillierte Stoß- und Firstkartierung der Kammern und Strecken im Maßstab 1 : 100 während des Vortriebs. Kartierungsschrittlängen 13 bis 45 m (Länge insgesamt > 4,7 km). Streckenquerschnitte liegen zwischen 70 m² in den Infrastrukturräumen und 23 m² in den Strecken. Messungen wurden durchgeführt. Probenahme erfolgte nur bei der Streckenauffahrung in den Erkundungsbereichen.

BORNEMANN et al. (2002 + 2003); HAMPE & KUTOWSKI (2002)

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B2.12 Untertage Bohrungen

47 Erkundungsbohrungen zur Erstellung des geologischen Modells, die in der Regel als Kernbohrungen durchgeführt wurden.

BORNEMANN et al. (2002); KUTOWSKI (2002)

Qualität: 3 Quantität: 2

B2.13 Untertage In-situ-Messungen**B2.14 Untertage Labor**

Gleiche Datensätze wie bei B6.14.

Qualität: 3 Quantität: 2

(Die Arbeiten wurden nach dem Gorleben-Moratorium eingestellt und sind nicht abgeschlossen.)

B3 Makro-Struktur**B3.1 Fernerkundung****B3.2 Geophysik (übertägig)**Seismik:

Erkundung der Flanke des Salzstocks 1980 mit Rx-Seismik. Anregung an der Oberfläche und Messungen in Tiefbohrungen.

Die Lage des Salzstocks, das Relief der Oberfläche des Salzstocks, die äußeren Umrisse und die Basis des Salzstocks mit Rx- und Ra-Seismik wurden 1984 bestimmt. Die gesamte Profillänge betrug 150 km.

1994 bis 1997 erfolgte hochauflösende Rx-Seismik (Flachseismik) zur Erkundung der Lagerungsverhältnisse des Quartär und Tertiär und der Oberfläche des Salzstocks. Zusätzlich wurde mit Bohrlochgeophonen registriert. Die Gesamtprofillänge betrug 313 km.

KÖTHE et al. (2007)

Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.2.

Qualität: 2 Quantität: 2

B3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**B3.4 Geol. Kartierung****B3.5 Bohrungen**

44 Salzspiegelbohrungen, nur mit Spülproben bis zum Hutgestein, im Hut- sowie Salzgestein gekernt.

BORNEMANN et al. (2003)

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1

4 Tiefbohrungen in den Salzstockflanken bis rund 2.000 m - gekernt vom Hutgestein bis zur Endteufe.

BORNEMANN et al. (2003)

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1

2 gekernte Schachtvorbohrungen bis knapp 1.000 m Teufe.

BORNEMANN et al. (2003)

Qualität: 3 Quantität: 2

B3.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B3.7 Feldmessungen - Geochemie****B3.8 Feldmessungen - Geomechanik****B3.9 Labor**

Gleiche Datensätze wie bei B6.9.

Qualität: 2 Quantität: 1 - 2

(Vorläufiges Salzstockmodell, das erst durch die untertägige Erkundung präzisiert und vervollständigt wurde.)

B3.10 Untertage Geophysik

Erkundung von Schichtgrenzen und Strukturen am Standort mit Hilfe von elektromagnetischen Reflexionsmessungen (EMR), durchgeführt in Schächten, Strecken und Bohrungen.

BORNEMANN (2002)

Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B2.10.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 3

B3.11 Untertage geol. Kartierung

Abteufen der 2 Schächte (Teufe > 900 m, Durchmesser 7,5 m) - Schachtstoß-Kartierung im Maßstab 1 : 50 während des Vortriebs.

BORNEMANN et al. (2003)

Qualität: 2 Quantität: 1

Detaillierte Stoß- und Firstkartierung der Kammern und Strecken im Maßstab 1 : 100 während des Vortriebs. Kartierungsschrittlängen 13 bis 45 m (Länge insgesamt > 4,7 km). Streckenquerschnitte liegen zwischen 70 m² in den Infrastrukturräumen und 23 m² in den Strecken. Messungen wurden durchgeführt. Probenahme erfolgte nur bei der Streckenauffahrung in den Erkundungsbereichen.

BORNEMANN et al. (2002 + 2003); HAMPE & KUTOWSKI (2002)

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B3.12 Untertage Bohrungen

47 Erkundungsbohrungen zur Erstellung des geologischen Modells, die in der Regel als Kernbohrungen durchgeführt wurden.

BORNEMANN et al. (2002); KUTOWSKI (2002)

Qualität: 3 Quantität: 2

B3.13 Untertage In-situ-Messungen**B3.14 Untertage Labor****B4 Mikro-Struktur****B4.1 Fernerkundung****B4.2 Geophysik (übertägig)****B4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B4.4 Geol. Kartierung****B4.5 Bohrungen****B4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B4.7 Feldmessungen - Geochemie****B4.8 Feldmessungen - Geomechanik**

B4.9 Labor

Im Vorgriff auf die untertägige Erkundung wurden bereits mikrostrukturelle Untersuchungen zur Textur und dem Mikrogefüge von Steinsalz aus Tiefbohrungen durchgeführt (vgl. B4.14).

Qualität: 2 Quantität: 1 (aufwändige Spezialuntersuchungen)

B4.10 Untertage Geophysik**B4.11 Untertage geol. Kartierung****B4.12 Untertage Bohrungen****B4.13 Untertage In-situ-Messungen****B4.14 Untertage Labor**

Für verschiedene Fragestellungen (z.B. Morphologie von Fluideinschlüssen, inter- und intrakristalline Verunreinigungen) sind umfangreiche Mikrostrukturuntersuchungen an Steinsalzproben mittels optischem Mikroskop (Durchlicht/Auflicht) sowie mit dem REM durchgeführt worden. Teilweise wurden diese Untersuchungen durch orts aufgelöste chemische Analysen zu fluiden Komponenten bzw. Matrixeigenschaften des Steinsalzes ergänzt (vgl. Datensätze B6.14 sowie B7a.14). Beispielsweise konnten aufgrund der mikrostrukturellen Untersuchungen Gesetzmäßigkeiten für die Korrelation der Gehalte und mikroskopischen Verteilung von Akzessorien (Sulfatmineralphasen, Ton) mit den gesteinsmechanischen Eigenschaften verschiedener Salzarten abgeleitet werden.

HUNSCHE et al. (2003)

Qualität: 3 Quantität: 1 (aufwändige Spezialuntersuchungen)

B5 In-situ-Spannungsverhältnisse**B5.1 Fernerkundung****B5.2 Geophysik (übertägig)****B5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B5.4 Geol. Kartierung****B5.5 Bohrungen****B5.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B5.7 Feldmessungen - Geochemie****B5.8 Feldmessungen - Geomechanik****B5.9 Labor****B5.10 Untertage Geophysik****B5.11 Untertage geol. Kartierung****B5.12 Untertage Bohrungen****B5.13 Untertage In-situ-Messungen**

Während des Abteufens der Schächte wurden in mehreren Erkundungshorizonten Untersuchungen zum Gebirgsspannungszustand im Salinar durchgeführt (JARITZ 1996). Die Untersuchungen umfassten Kurzzeitspannungsmessungen nach dem BGR-Überbohrverfahren und Langzeitspannungsmessungen mit stationären Monitorstationen (Bohrlocheinschlussmethode), Bohrlochaufweitungsversuche zur Ermittlung der Gebirgssteifigkeit, ingenieurgeologische Aufnahmen der Messbohrungen, begleitende geomechanische Laborversuche an Prüfkörpern aus den Messbohrungen sowie theoretische Arbeiten zur Auswertung und

Interpretation der Messergebnisse. Ziel der Messungen war die Ermittlung von Spannungsbeträgen und -richtungen, insbesondere in Abhängigkeit von der Teufe, oberhalb der Erkundungssohle sowie die langfristige Beobachtung von Gebirgsspannungsänderungen.

In beiden Schächten wurden in den Erkundungshorizonten 2 bis 5 Spannungsmessungen in mehreren Bohrungen mit unterschiedlicher Orientierung bis zu einer Bohrlochtiefe von max. 32 m durchgeführt. Dabei kamen folgende Messmethoden und Geräte zum Einsatz:

- spezielle explosionsgeschützte 2D-Überbohrsonden der BGR für Kurzzeitspannungsmessungen nach dem Entlastungsverfahren
- BGR-Dilatometer für Bohrlochaufweitungsversuche
- je Messbohrung drei stationäre Spannungsmonitorstationen mit jeweils vier unterschiedlich orientierten hydraulischen Spannungsgebern für Langzeitspannungsmessungen

Qualität: 3 Quantität: 2 (Ergebnisse einer numerischen Rückrechnung sind nicht bekannt)

Im Bereich des Erkundungsbereiches EB1 sowie den Infrastrukturbereichen in der Nähe der Schächte sind zahlreiche Hydrofracmessungen durch K-UTEC durchgeführt worden. Darüber hinaus wurden Gebirgsspannungsmessungen mittels Überbohrmethode nach BGR, Dilatometer-, Schlitzentlastungs- und Langzeitspannungsmessungen durchgeführt.

Qualität: 3 Quantität: 1 (Details zu den Messungen sind nicht bekannt)

B5.14 Untertage Labor

B6 Mineralogie

B6.1 Fernerkundung

B6.2 Geophysik (übertägig)

B6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B6.4 Geol. Kartierung

B6.5 Bohrungen

B6.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B6.7 Feldmessungen - Geochemie

B6.8 Feldmessungen - Geomechanik

B6.9 Labor

Im Rahmen der Standorterkundung für das Projekt Gorleben wurden die gekernten Tiefbohrungen bzw. Schachtbohrungen Go1002, GO1003, Go1004, Go5001 und Go 5002 mineralogisch / geochemisch bearbeitet.

BORNEMANN (1991); HERRMANN & KNIPPING (1993)

Qualität: 2 Quantität: 2

(Vorläufiges Salzstockmodell, das erst durch die untertägige Erkundung präzisiert und vervollständigt wurde.)

B6.10 Untertage Geophysik

B6.11 Untertage geol. Kartierung

B6.12 Untertage Bohrungen

B6.13 Untertage In-situ-Messungen**B6.14 Untertage Labor**

Zum Stoffbestand des Salzgebirges und seiner Entwicklung wurden seit Beginn des Projektes Gorleben umfangreiche Untersuchungen sowohl von der BGR (BORNEMANN et al, 2002, 2003) als auch von der TU Clausthal (z.B. HERRMANN & KNIPPING 1993) durchgeführt. Auf Basis dieser Untersuchungen wurde ein umfassender Wissensstand über die Entstehung und stoffliche Zusammensetzung sowie deren Eigenschaften erworben. Das betrifft im Detail:

- mineralogische und geochemische Zusammensetzung wichtiger Salzgesteine bzw. stratigraphischer Einheiten (z.B. quantitativer Hauptmineralbestand)
- Brom- und Spurenelementgehalte von Salzgestein und -lösungen (z.B. Rb, Sr)
- Untersuchung von Poren- oder Laugeneinschlüssen (Gebirgslösungen)
- Untersuchung gasförmiger Komponenten

Bromgehaltsbestimmungen dienen als wichtiges Hilfsmittel zur genetischen Interpretation bzw. stratigraphischen Einordnung. In den Kristallstrukturen der Chloridverbindungen mariner Evaporite ist ein Teil des Cl diadoch durch Br ersetzt. Für alle Chloridminerale sind die Verhältniswerte < 1 . Die Kenntnis der absoluten Br-Gehalte im Halit (NaCl) des Werra- (Na1), Staßfurt- (Na2) und Leine- (Na3) Steinsalzes Mittel- und Norddeutschlands ermöglicht Aussagen zur Bildung und Umbildung, Stratigraphie, Prospektion sowie Erkundung (Bohrungen, Bergbau) der Steinsalzschiefer.

Anhand von mehr als 600 Br-Analysen aus dem Salzstock Gorleben wurden Brom-Standardprofile für verschiedene Zechsteinsedimentationsfolgen erstellt. Damit existiert ein übereinstimmendes und stratigraphisch verschiedene Salzschichten (Staßfurt-Steinsalz, Kaliflöz Staßfurt, Leine-Steinsalz) umfassendes Bild über das seit etwa 255 Mio. Jahren praktisch unverändert gebliebene geologische und geochemische Isolationspotenzial natürlicher Evaporitbarrieren im Kernbereich des Salzstockes Gorleben.

BORNEMANN et al. (2003)

Qualität: 3 Quantität: 2

(Die Arbeiten wurden nach dem Gorleben-Moratorium eingestellt und sind nicht abgeschlossen.)

B7 Petrophysikalische Eigenschaften**B7a Gesteinsmechanik****B7a.1 Fernerkundung****B7a.2 Geophysik (überflächig)****B7a.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7a.4 Geol. Kartierung****B7a.5 Bohrungen****B7a.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7a.7 Feldmessungen - Geochemie****B7a.8 Feldmessungen - Geomechanik**

Im Rahmen der Überflächenerkundung ist für die Bewertung der Senkungen (Bergschadensanalyse) infolge der Auffahrung des Bergwerkes routinemäßig ein überflächiges Feinnivellamentnetzwerk eingerichtet worden.

Qualität: 1 Quantität: 1 (Details zu den Messungen sind nicht bekannt)

B7a.9 Labor

Im Rahmen der Standorterkundung für das Projekt Gorleben wurden geomechanische Laboruntersuchungen an den gekernten Tiefbohrungen bzw. Schachtbohrungen Go1002, GO1003, Go1004, Go5001 und Go5002 durchgeführt. Die schwerpunktmäßig an Steinsalz, aber auch an Carnallit durchgeführten Arbeiten umfassten (BGR 1990):

- 543 einaxiale Kriechversuche (376 bei Raumtemperatur sowie 167 bei erhöhter Temperatur) (PLISCHKE 1992)
- umfangreiche Festigkeitsuntersuchungen an Würfel- bzw. zylindrischen Proben unter Normaldruck (einaxiale Festigkeit) bzw. unter triaxialer Einspannung bei Raum- und erhöhter Temperatur (insgesamt mehr als 1.000 Proben mit unterschiedlichen Versuchsanordnungen) (BGR 1990).

Auf Basis der Untersuchungen wurden konventionelle Ansätze zur Beschreibung der Festigkeits- und Kriecheigenschaften (Kriechgesetz BGRa und b) entwickelt und angepasst.

Qualität: 1 - 2 Quantität: 3

B7a.10 Untertage Geophysik**B7a.11 Untertage geol. Kartierung****B7a.12 Untertage Bohrungen****B7a.13 Untertage In-situ-Messungen**

Beim Abteufen und Ausbau der Gefrierschächte wurde ein umfangreiches geotechnisches Messsystem mit Druckgebern und Temperaturmessstellen in der Grenzfläche zwischen Gebirge und Ausbau in 6 Ebenen installiert, das langfristig betrieben wird.

JARITZ (1996)

Qualität: 2 Quantität: 2 (numerische Modellrechnungen sind nicht bekannt)

Im Rahme der Untertageerkundung wurden standardmäßig Extensometer- und Konvergenzmessstellen eingerichtet sowie ein Untertagenivellement begonnen.

Qualität: 1 Quantität: 1

(Details zu den Messungen sind nicht bekannt, geotechnische Großversuche sind bisher nicht durchgeführt worden.)

B7a.14 Untertage Labor

Im Rahmen der Standorterkundung für das Projekt Gorleben wurden geomechanische Laboruntersuchungen an Probenmaterial aus der Untertageerkundung sowohl aus dem z3 (hauptsächlich die Infrastrukturbereiche) sowie dem z2 im Bereich des Erkundungsbereiches EB1 durchgeführt (HUNSCHKE et al. 2003). Die Arbeiten umfassten folgende thematische Schwerpunkte:

- experimentelle Laboruntersuchungen und theoretische Arbeiten zum Kriechverhalten unter besonderer Berücksichtigung von intrakristallinen Verunreinigungen sowie zum Festigkeitsverhalten; hierfür wurden 12 umfangreiche Serien an Würfelproben (Steinsalz) in der echt-drei-axialen Würfelpresse der BGR in Grubenhagen durchgeführt
- Sonderuntersuchungen mit
 - o Arbeiten zum Einfluss von Feuchte
 - o bzw. zum Schädigungs- und Wiederverheilungsvermögen von Steinsalz

Neben der Gewinnung von Stoffparametern als Basis einer numerischen Modellierung des Verhaltens von Hohlräumen wurden neue Stoffansätze entwickelt, die neben der Beschreibung der verschiedenen Kriechprozesse auch eine Beschreibung von Schädigung, Dilatanz, Versagen (Bruch), der Permeabilität, Permeation und Porendruckeffekten sowie Verheilung (THMC) ermöglichen. Auf Basis dieser experimentellen und theoretischen Untersuchungen wurden FE-Rechnungen durchgeführt.

Auf Basis der gesteinsmechanischen Materialparameter aus dem Labor sowie unter Einbeziehung der Erkundungsergebnisse zum geologischen Aufbau des Salzstockes wurden thermomechanische Modellberechnungen zur Integrität der Salzstockbarriere im Erkundungsbergwerk Gorleben durchgeführt.

(http://www.bgr.bund.de/cIn_092/nn_322852/DE/Themen/Geotechnik/Projekte/Endlagerstandorte/integritaet_gorleben.html)

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

(Die durch die BGR auf hohem wissenschaftlichen Niveau durchgeführten geomechanischen Laboruntersuchungen wurden nach dem Gorleben-Moratorium eingestellt und sind, ebenso wie die Modellberechnungen, nicht abgeschlossen. Allerdings fehlen auch noch untertägige Großversuche zur Verifizierung der Laboruntersuchungen bzw. zur Kalibrierung der Modellrechnungen.)

B7b Hydraulisch (z. B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)

B7b.1 Fernerkundung

B7b.2 Geophysik (übertägig)

B7b.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7b.4 Geol. Kartierung

B7b.5 Bohrungen

B7b.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7b.7 Feldmessungen - Geochemie

B7b.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7b.9 Labor

Ausgehend von Kernproben wurden Permeabilitätsmessungen an Steinsalz aus dem Salzstock Gorleben für verschiedene stratigraphische Einheiten durchgeführt. Allerdings ist Probenmaterial aus Tiefbohrungen aufgrund der erfolgten Auflockerung nur eingeschränkt geeignet.

POPP et al. (2001); HUNSCHE et al. (2003)

Qualität: 1 - 2 Quantität: 1 - 2

B7b.10 Untertage Geophysik

B7b.11 Untertage geol. Kartierung

B7b.12 Untertage Bohrungen

B7b.13 Untertage In-situ-Messungen

B7b.14 Untertage Labor

Ausgehend von Kernmaterial aus untertägigen Erkundungsbohrungen wurden im Rahmen verschiedener Forschungsvorhaben Permeabilitätsmessungen an Steinsalz aus dem Salzstock Gorleben sowie Referenzmaterial von anderen Standorten durchgeführt. Im Ergebnis dieser Untersuchungen wurden grundsätzliche Beziehungen zur Schädigung und Verheilung in Salzgesteinen entwickelt.

HUNSCHE et al. (2003)

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2 (aufwändige Spezialuntersuchungen)

B7c Diffusion

Anmerkung: Diffusionsprozesse sind im dichten Steinsalz grundsätzlich vernachlässigbar. Allerdings liegen Ergebnisse aus generischen Untersuchungen vor, die durch die GRS im Forschungsbergwerk Asse durchgeführt wurden.

B7c.1 Fernerkundung**B7c.2 Geophysik (übertägig)****B7c.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7c.4 Geol. Kartierung****B7c.5 Bohrungen****B7c.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7c.7 Feldmessungen - Geochemie****B7c.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7c.9 Labor****B7c.10 Untertage Geophysik****B7c.11 Untertage geol. Kartierung****B7c.12 Untertage Bohrungen****B7c.13 Untertage In-situ-Messungen****B7c.14 Untertage Labor**

An Bohrkernproben wurden Wassergehaltsmessungen mittels einer neuen Labormethode zum molekular-diffusiven Austausch durchgeführt; dabei wurden Diffusionskonstanten von Wasser in Steinsalz über zwei unabhängige Messverfahren bestimmt.

FRIEDRICH (2000)

Qualität: 2 Quantität: 1

(Spezialuntersuchungen, allerdings an Bohrkernen, die möglicherweise aufgelockert waren.)

B7d Thermisch**B7d.1 Fernerkundung****B7d.2 Geophysik (übertägig)**

B7d.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Datensätze teilweise aus B1.3

Auf Basis der geophysikalischen Messungen (Temperaturlogs) aus den Tiefbohrungen Go1003, Go5001 und Go5002 wurden geothermische und hydrogeologische Vertikalschnitte durch das Deckgebirge des Salzstockes Gorleben bestimmt. Darüber hinaus wurden Querschnitte modellhaft berechnet.

BGR (1990); KLINGE et al. (2007)

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2 - 3

B7d.4 Geol. Kartierung**B7d.5 Bohrungen****B7d.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7d.7 Feldmessungen - Geochemie****B7d.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7d.9 Labor**

Zu den thermischen Eigenschaften von Steinsalz wurden u.a. an Kernmaterial aus Tiefbohrungen aus dem Salzstock Gorleben Wärmeleitfähigkeitsmessungen durchgeführt.

KÖPITZ & NEUMANN (1985); BGR (1990)

Qualität: 2 Quantität: 2

B7d.10 Untertage Geophysik**B7d.11 Untertage geol. Kartierung****B7d.12 Untertage Bohrungen****B7d.13 Untertage In-situ-Messungen**

In 8 Erkundungsbohrungen des EB1 wurden Temperaturprofile bestimmt.

GRISSEMANN & CZORA (2003)

Qualität: 2 Quantität: 2

B7d.14 Untertage Labor**B7e THMC-Kopplung****B7e.1 Fernerkundung****B7e.2 Geophysik (übertägig)****B7e.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7e.4 Geol. Kartierung****B7e.5 Bohrungen****B7e.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7e.7 Feldmessungen - Geochemie****B7e.8 Feldmessungen - Geomechanik**

B7e.9 Labor**B7e.10 Untertage Geophysik****B7e.11 Untertage geol. Kartierung****B7e.12 Untertage Bohrungen****B7e.13 Untertage In-situ-Messungen****B7e.14 Untertage Labor**

Gleiche Datensätze wie bei B7b.14 sowie SCHULZE & POPP (2002)

Auf Basis von Laboruntersuchungen an Steinsalz aus dem Salzstock Gorleben sowie anderer Lokationen wurden grundsätzliche Erkenntnisse zur Wirkung eines Fluiddruckes im Steinsalz abgeleitet. Allerdings haben diese Untersuchungen mehr generischen Charakter, d.h. sie sind nicht standortspezifisch. Zu ihrer Verifizierung sind In-situ-Versuche (B7e.13) unerlässlich.

Qualität: 1 - 2 Quantität: 1

(Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen.)

B7f Chemische Eigenschaften (z.B. Oxidation, Adsorption)

Anmerkung: Oxidations- und Sorptionsprozesse sind für Steinsalz nicht relevant, hingegen für Deckgesteine, vor dem Hintergrund einer zusätzlichen Barrierewirkung sehr wohl.

B7f.1 Fernerkundung**B7f.2 Geophysik (überflächig)****B7f.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7f.4 Geol. Kartierung****B7f.5 Bohrungen****B7f.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7f.7 Feldmessungen - Geochemie****B7f.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7f.9 Labor**

An Sedimenten des Deckgebirges wurden Sorptions- und Desorptionskoeffizienten bestimmt.

BGR (1990)

Qualität: 2 Quantität: 1

(Ergebnisse zu neueren Untersuchungen sind nicht bekannt.)

B7f.10 Untertage Geophysik**B7f.11 Untertage geol. Kartierung****B7f.12 Untertage Bohrungen****B7f.13 Untertage In-situ-Messungen****B7f.14 Untertage Labor**

C Hydrogeologie des Wirtsgesteins und der Rahmengesteine (Feldmaßstab)**C1 Hydraulisch wirksame Einheiten****C1.1 Fernerkundung****C1.2 Geophysik (übertägig)**Geoelektrik / Elektromagnetik:

Die Erkundung der geologischen und hydrologischen Verhältnisse bis in eine Tiefe von ca. 350 m erfolgte 1980 ergänzend zu den Bohrungen mit Hilfe von insgesamt 540 geoelektrischen Tiefensondierungen nach SCHLUMBERGER auf 20 Profilen über dem Salzstock und in dessen direktem Umfeld. Der Kenntnisstand über die Quartärbasis sowie über den Verlauf und die Ausdehnung von quartären Rinnen konnte damit deutlich verbessert werden.

BGR (1991)

Zur Bestimmung der Süß-/Salzwassergrenze bzw. zur Erkundung oberflächennaher Grundwasserversalzen wurden außerdem elektromagnetische Messungen vom Hubschrauber aus durchgeführt.

KLINGE et al. (2007)

Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.2.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

C1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Zur Beschreibung des Aquifersystems im Deckgebirge des Salzstockes wurden geophysikalische Bohrlochmessungen durchgeführt (Gamma-Strahlungs-, Widerstands-, induzierte Leitfähigkeits-, Eigenpotenzial-, Kaliber-, Formations-Dichte-, Neutron-Porositäts-, Wasserleitfähigkeits- und Temperatur-, Vertikalitäts- und In-situ-Wasserdruckmessungen). Außerdem erfolgten noch hochgenaue Temperaturmessungen. Aus allen Messmethoden wurden Aussagen zur Grundwasserbeschaffenheit und der GW-Bewegung abgeleitet.

BGR (1991)

Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A2.3.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1

C1.4 Geol. Kartierung**C1.5 Bohrungen**

Hydrogeologische Untersuchungen auf einer Fläche von ca. 390 km² mit 158 Aufschlussbohrungen und 4 Brunnenbohrungen für Langzeitpumpversuche (Gorleben-Süd) und auf einer Fläche von ca. 85 km² nördlich der Elbe mit 22 Aufschlussbohrungen und 1 Brunnen (Dömitz-Lenzen).

BORNEMANN et al. (2003); KÖTHE et al. (2007)

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1

C1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

Kurzpumpversuche wurden in ca. 75 Grundwassermessstellen durchgeführt.

KLINGE et al. (2007)

Qualität: 2 Quantität: 1

Fünf Langzeitpumpversuche wurden durchgeführt.

KLINGE et al. (2007)

Qualität: 3 Quantität: 1

C1.7 Feldmessungen - Geochemie**C1.8 Feldmessungen - Geomechanik****C1.9 Labor****C1.10 Untertage Geophysik****C1.11 Untertage geol. Kartierung**

Bei der Erkundung des Salzstockes Gorleben wurden in Bohrungen sowie bei der Auffahrung der Grubenräume örtlich salinare Lösungen angetroffen. Diese isolierten Vorkommen (wenige cm³ bis max. ca. 200 m³), die keine Verbindung zu Grundwässern des Deck- oder Nebengebirges des Salzstocks haben, sind an bestimmte Gesteine und Strukturen im Salzstock gebunden (z.B. Hauptanhydrit).

In Zusammenarbeit verschiedener Institutionen (DBE, Institut für Angewandte Hydrogeologie (IFAH), TU Clausthal und BGR) wurde unter Leitung des BfS ein Verzeichnis aller bisher bei der Erkundung des Standortes für das geplante Endlager Gorleben im gleichnamigen Salzstock angetroffenen salinaren Lösungen eine Datenbank erstellt. Diese Dokumentation enthält auch alle chemischen Analysen salinarer Lösungen aus Tiefbohrungen sowie vom Schachtabteufen und von der söhligen Erkundung von untertage. Zusätzlich ist im Lösungsverzeichnis Gorleben der Stoffbestand kleiner Lösungseinschlüsse (fluid inclusions; Durchmesser $\geq 250 \mu\text{m}$) in Salzmineralen verzeichnet. (vgl. B1.7)

Qualität: 3 Quantität: 2

C1.12 Untertage Bohrungen**C1.13 Untertage In-situ-Messungen****C1.14 Untertage Labor****C2 Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein****C2.1 Fernerkundung****C2.2 Geophysik (übertägig)****C2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C2.4 Geol. Kartierung****C2.5 Bohrungen****C2.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

Grundwasserstände wurden regelmäßig in ca. 400 Pegeln gemessen.

KLINGE et al. (2007)

Qualität: 1 Quantität: 1

C2.7 Feldmessungen - Geochemie**C2.8 Feldmessungen - Geomechanik****C2.9 Labor****C2.10 Untertage Geophysik****C2.11 Untertage geol. Kartierung****C2.12 Untertage Bohrungen****C2.13 Untertage In-situ-Messungen**

Zur Bestimmung möglicher Fluiddrücke im Gestein wurden Druckaufbautests bei zutretenden Lösungen in mit Packern abgeschlossenen Bohrungen durchgeführt. Die Drücke lagen initial über hydrostatischen Teufendrücken, allerdings ließen die Bohrlochinstallationen keine petrostatischen Druckmessungen zu.

NOWAK & WEBER (2002)

Qualität: 3 Quantität: 1

C2.14 Untertage Labor**C3 Fließ- und Speicherparameter****C3.1 Fernerkundung****C3.2 Geophysik (übertägig)****C3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C3.4 Geol. Kartierung****C3.5 Bohrungen****C3.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

Kurzpumpversuche wurden in ca. 75 Grundwassermessstellen durchgeführt.

KLINGE et al. (2007)

Qualität: 2 Quantität: 1

Fünf Langzeitpumpversuche wurden durchgeführt.

KLINGE et al. (2007)

Qualität: 3 Quantität: 1

C3.7 Feldmessungen - Geochemie**C3.8 Feldmessungen - Geomechanik****C3.9 Labor****C3.10 Untertage Geophysik****C3.11 Untertage geol. Kartierung****C3.12 Untertage Bohrungen**

C3.13 Untertage In-situ-Messungen

Innerhalb des verfügbaren Zeitraumes vor dem Erkundungsmoratorium wurden in untertägigen Bohrungen hydraulische Bohrlochtests durchgeführt. Im Streifensalz (z2HS2) des Erkundungsbereiches 1 wurden in den Tests mit Lösung und Gas nachgewiesen, dass keine Permeabilität größer als 10^{-20} bzw. 10^{-21} m^2 vorhanden ist. In stark deformierten Schichten der Leine-Folge (z3) wurden lokal begrenzt Permeabilitäten bis zu 10^{-18} m^2 gemessen. Als Grenzwert, der von Permeabilitäten im Nahbereich von Abbauen in Entfernungen zwischen 0,3 m und 1,2 m vom Stoß mit Sicherheit unterschritten wird, wurden Werte zwischen 10^{-22} und 10^{-20} m^2 festgestellt.

BORNEMANN et al. (2003)

Qualität: 3 Quantität: 1

C3.14 Untertage Labor**C4 Zwei-Phasenfluss-Parameter****C4.1 Fernerkundung****C4.2 Geophysik (übertägig)****C4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C4.4 Geol. Kartierung****C4.5 Bohrungen****C4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****C4.7 Feldmessungen - Geochemie****C4.8 Feldmessungen - Geomechanik****C4.9 Labor****C4.10 Untertage Geophysik****C4.11 Untertage geol. Kartierung****C4.12 Untertage Bohrungen****C4.13 Untertage In-situ-Messungen****C4.14 Untertage Labor****D Hydrochemie****D1 Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)****D1.1 Fernerkundung****D1.2 Geophysik (übertägig)****D1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D1.4 Geol. Kartierung****D1.5 Bohrungen****D1.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D1.7 Feldmessungen - Geochemie**

D1.8 Feldmessungen - Geomechanik**D1.9 Labor**

Proben aus 82 Messstellen südlich der Elbe sowie aller 76 Messstellen nördlich der Elbe wurden zur Altersdatierung analysiert (^3H).

KLINGE et al. (2007)

Qualität: 3 Quantität: 1

Proben aus 82 Messstellen südlich der Elbe sowie aller 76 Messstellen nördlich der Elbe wurden zur Altersdatierung analysiert (^{14}C).

KLINGE et al. (2007)

Qualität: 3 Quantität: 1

Proben aus 82 Messstellen südlich der Elbe sowie aller 76 Messstellen nördlich der Elbe wurden zur Altersdatierung analysiert (^{18}O , ^2H).

KLINGE et al. (2007)

Qualität: 3 Quantität: 1

Proben von allen 322 Messstellen wurden zur Altersdatierung analysiert (^{18}O).

KLINGE et al. (2007)

Qualität: 3 Quantität: 1

Porenwasser aus Kernproben des Lauenburger-Ton-Komplexes sowie des Hamburg-Tons (etwa 40 insgesamt) wurde für ^3H und ^{18}O analysiert.

KLINGE et al. (2007)

Qualität: 3 Quantität: 1

D1.10 Untertage Geophysik**D1.11 Untertage geol. Kartierung****D1.12 Untertage Bohrungen****D1.13 Untertage In-situ-Messungen****D1.14 Untertage Labor****D2 Porenwasserchemismus****D2.1 Fernerkundung****D2.2 Geophysik (übertägig)**

Zur Bestimmung der Süß-/Salzwassergrenze bzw. zur Erkundung oberflächennaher Grundwasserversalzen wurden außerdem elektromagnetische Messungen vom Hubschrauber aus durchgeführt.

KLINGE et al. (2007)

Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A1.2.

Qualität: 2 Quantität: 2

D2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Zur Beschreibung des Aquifersystems im Deckgebirge des Salzstocks wurden geophysikalische Bohrlochmessungen durchgeführt (Gamma-Strahlungs-, Widerstands-, induzierte Leitfähigkeits-, Eigenpotential-, Kaliber-, Formations-Dichte-, Neutron-Porositäts-, Wasserleitfähigkeits- und Temperatur-, Vertikalitäts- und In-situ-Wasserdruckmessungen). Außerdem erfolgten noch hochgenaue Temperaturmessungen. Aus allen Messmethoden wurden Aussagen zur Grundwasserbeschaffenheit und der GW-Bewegung abgeleitet.

BGR (1991)

Verwendung der gleichen Datensätze wie bei A2.3.

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1

D2.4 Geol. Kartierung**D2.5 Bohrungen****D2.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D2.7 Feldmessungen - Geochemie****D2.8 Feldmessungen - Geomechanik****D2.9 Labor**

Grundwasserproben aus 404 Messstellen wurden chemisch analysiert, insgesamt etwa 1.400 Proben aus Messstellen und Förderbrunnen.

KLINGE et al. (2007)

Qualität: 3 Quantität: 1

D2.10 Untertage Geophysik**D2.11 Untertage geol. Kartierung****D2.12 Untertage Bohrungen****D2.13 Untertage In-situ-Messungen****D2.14 Untertage Labor**

Nahezu alle untertage angetroffenen salinaren Lösungen (durch Bohrung oder als Zutritt in den Strecken bzw. Kammern) wurden chemisch analysiert und hinsichtlich ihrer Entstehung (Genese) und Herkunft interpretiert (vgl. auch B6.14).

BORNEMANN et al. (2003)

Die Zutritte salinarer Lösungen wurden routinemäßig auf ihre Haupt- und Nebenbestandteile chemisch analysiert. An Hauptbestandteilen wurde Na, K, Mg, Ca, Cl und SO₄ analysiert. Ebenso wurden die Nebenbestandteile Br, Li und Rb für die genetische Interpretation bestimmt. Ein Großteil der Elemente wurde durch Atomemission mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES) und Atommassenspektrometrie mit Probeneinführung über ein induktiv gekoppeltes Plasma (ICP-MS) bestimmt. Chlorid und Bromid wurden durch Titration bestimmt, Bromid z.T. auch durch Ionenchromatographie.

Qualität: 3 Quantität: 2 - 3

D3 Transporteigenschaften

D3.1 Fernerkundung

D3.2 Geophysik (übertägig)

D3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

D3.4 Geol. Kartierung

D3.5 Bohrungen

D3.6 Feldmessungen - Geohydraulik

D3.7 Feldmessungen - Geochemie

D3.8 Feldmessungen - Geomechanik

D3.9 Labor

D3.10 Untertage Geophysik

D3.11 Untertage geol. Kartierung

D3.12 Untertage Bohrungen

D3.13 Untertage In-situ-Messungen

D3.14 Untertage Labor

D4 Kolloide usw.

D4.1 Fernerkundung

D4.2 Geophysik (übertägig)

D4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

D4.4 Geol. Kartierung

D4.5 Bohrungen

D4.6 Feldmessungen - Geohydraulik

D4.7 Feldmessungen - Geochemie

D4.8 Feldmessungen - Geomechanik

D4.9 Labor

D4.10 Untertage Geophysik

D4.11 Untertage geol. Kartierung

D4.12 Untertage Bohrungen

D4.13 Untertage In-situ-Messungen

D4.14 Untertage Labor

Literatur

- BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE - BGR (1991): Übertägige geowissenschaftliche Erkundung des Standortes Gorleben. Zusammenfassender Bericht. Stand 01.01.1990. - Arch.-Nr. 108880, Hannover.
- BORNEMANN, O. (mit einem Beitrag von Fischbeck, R.) (1991): Zur Geologie des Salzstocks Gorleben nach den Bohrerergebnissen. BfS-SCHR-4/1991. Salzgitter.
- BORNEMANN, O., BEHLAU, J. & MINGERZAHN, G. (2002): Geologische Bearbeitung der Erkundungssohle (Geologie, Mineralogie, Geochemie). 2. Geologischer Fachbericht (Geologische Schnitte zur untertägigen Erkundung). BGR, Hannover (unveröffentlichter Bericht im Auftrag des BfS).
- BORNEMANN, O., BEHLAU, J., KELLER, S., MINGERZAHN, G. & SCHRAMM, M. (2003): Standortbeschreibung Gorleben - Teil III Ergebnisse der Erkundung des Salinars. BGR, Hannover (unveröffentlichter Bericht im Auftrag des BfS).
- FRIEDRICH, A. J. (2000): Selbstdiffusion von Wasser im intergranularen Raum von Steinsalz. Unveröff. Diplomarbeit, Inst. für Umweltp Physik, Uni Heidelberg, 79 S.
- GRISSEMANN, C. & CZORA, D. (2003): Projekt Gorleben.
- HAMPE, M. & KUTOWSKI, J. (2002): Projekt Gorleben: Durchführung geologischer Aufnahmen. DBE, Peine (unveröffentlichter Bericht im Auftrag des BfS).
- HERRMANN, A. G. & KNIPPING, B. (1993): Fluide Komponenten als Teile des Stoffbestandes der Evaporite im Salzstock Gorleben – Vorkommen, Herkunft, Entstehung und Wechselwirkungen mit den Salzgesteinen. – Bericht, 140 S. Clausthal-Zellerfeld.
- HUNSCHKE, U., PLISCHKE, I., SCHULZE, O. & WALTER, F. (2003): Projekt Gorleben – Thermomechanisches Verhalten von Salzgestein (Abschlussbericht) (unveröff. BGR-Bericht im Auftrag des BfS).
- JARITZ, W. (1996): Standort Gorleben – Zusammenfassung von Erkundungsergebnissen 1990 – 1995 (unveröff. BGR-Bericht im Auftrag des BfS).
- KLINGE, H., BOEHME, J., GRISSEMANN, C., HOUBEN, G., LUDWIG, R.-R., RÜBEL, A., SCHELKES, K., SCHILDKNECHT, K. & SUCKOW, A. (2007): Standortbeschreibung Gorleben: Teil 1: Die Hydrogeologie des Deckgebirges des Salzstocks Gorleben. Geologisches Jahrbuch, Reihe C, Heft 71. Hrsg. BGR, Hannover.
- KÖPITZ, J. & NEUMANN, W. (1985): Thermal-Conductivity and Thermal Diffusivity Measurements of Salt Rocks by Different Methods. - Proc. 18* International Thermal Conductivity Conference, Rapid City, USA, 661-672, 5 Abb., 5 Tab.; London (Plenum Press).
- KÖTHE, A., HOFFMANN, N., KRULL, P., ZIRNGAST, M. & ZWIRNER, R. (2007): Standortbeschreibung Gorleben: Teil 2: Die Geologie des Deck- und Nebengebirges des Salzstocks Gorleben. Geologisches Jahrbuch, Reihe C, Heft 72. Hrsg. BGR, Hannover.
- KUTOWSKI, J. (2002): Projekt Gorleben: Handbuch Bohrkernbearbeitung. DBE, Peine (unveröffentlichter Bericht im Auftrag des BfS).
- NOWAK, T. & WEBER, J. R. (2002). Hydraulische Charakterisierung der Salzbarriere Gorleben, Abschlussbericht. - BGR, unveröff., 122 S..
- PLISCHKE, I. (1992): Statistische Auswertung von Kriechversuchen an Proben aus dem Salzstock Gorleben (unveröff. BGR-Bericht).
- SCHULZE, O. & POPP, T. (2002): Untersuchungen zum Dilatanzkriterium und zum Laugendruckkriterium für die Beurteilung der Integrität eines Endlagerbergwerks in einer Steinsalzformation.- Z. f. Angew. Geologie 2: 16-22.

Gorleben	Erkundungs- methoden: 1-9 übertägig 10-14 untertägig	Fernerkundung	Geophysik (übertägig)	Geophysik (im Bohrloch)	Geol. Kartierung	Bohrungen	Feldmessungen - Geohydraulik	Feldmessungen - Geochemie	Feldmessungen - Geomechanik	Labor	Geophysik	geologische Kartierung	Bohrungen	In-situ- Messungen	Labor
Inhalte der Themenkomplexe	Bezeichnungen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Regionale Geologie (20 km*20 km)															
Wirtsgestein / Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)	A1														
Stratigraphie	A2														
Strukturgeologie und Tektonik (Störungsmuster, Faltung)	A3														
Regionales Spannungsfeld	A4														
Temperatur und Wärmeleitfähigkeit	A5														
Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z.B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)	A6														
Rohstoffvorkommen	A7														
Eigenschaften des Wirtsgesteins und der Rahmengesteine am Standort															
Lithologie	B1														
Geometrie (Tiefenlage, Ausdehnung)	B2														
Makro-Struktur (Großgefüge: Störungen / Faltungen / Deformationen / Klüfte)	B3														
Mikro-Struktur (Korngefüge / Porenstruktur)	B4														
In-situ-Spannungsverhältnisse	B5														
Mineralogie	B6														
Petrophysikalische Eigenschaften (Probenmaßstab):															
Gesteinsmechanik (z.B. Festigkeit, Kriechen)	B7a														
Hydraulik (z.B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)	B7b														
Diffusion	B7c														
Thermik	B7d														
THMC-Kopplung	B7e														
Chemismus (z.B. Oxidation, Adsorption)	B7f														
Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)															
Hydraulisch wirksame Einheiten	C1														
Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein	C2														
Fließ- und Speicherparameter	C3														
Zwei-Phasenfluss-Parameter	C4														
Hydrochemie															
Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)	D1														
Porenwasserchemismus	D2														
Transporteigenschaften	D3														
Kolloide usw.	D4														
		Erkundungsaktivität													

Anhang 16

Dokumentation -
Endlager für radioaktive Abfälle
Morsleben (ERAM)

Standort:	Morsleben (D)
Name - Typ:	ERAM - Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben: für LAW/MAW im ehemaligen Kali- und Steinsalzbergwerk Bartensleben
Lage:	in der Nähe von Morsleben im Landkreis Ohrekreis (Sachsen-Anhalt)
Betreiber:	Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)
Fläche:	Untertägiges Grubenfeld: 5,6 km in SE-NW-Richtung bzw. 1,4 km in EW-Richtung
Erschließung / Teufenlage:	Zwei Schächte sowie komplexes Grubengebäude mit vier Hauptsohlen zwischen 386 bis 506 Metern mit Großkammern zur Salzgewinnung (L = 100 m; B = 30 m und H = 30 m)
Geologie:	<p>Das Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben liegt innerhalb der Salzlagerstätte Oberes Allertal, die als ca. 260 m mächtige Zechsteinstruktur in einer von Nordwesten nach Südosten verlaufenden Störungszone (Allertalzone) zwischen den Grundgebirgsaufbrüchen Harz und Flechtinger Höhenzug entstand. Die Struktur wird im SW von der Lappwaldscholle und im NW von der Weferlinger Triasplatte begrenzt.</p> <p>Im Grubengebäude sind flächenhaft oder durch Bohrungen die Schichten der Werra- bis Aller-Folge aufgeschlossen. Aufgrund der tektonischen Beanspruchung sind diese heute intern verfaltet und bilden teilweise kompliziert gebaute Sättel und Mulden.</p> <p>Das Salzgestein wird durch ein ca. 250 m mächtiges Hutgestein flächenhaft vom Grundwasser abgeschirmt. Im Hangenden des Hutgesteins befinden sich gut durchlässige kreidezeitliche Sande bzw. unterschiedlich hydraulisch durchlässige keuperzeitliche Gesteine. Darüber liegen quartäre Bildungen wechselnder Mächtigkeit und Durchlässigkeit.</p>
Historie:	<p>Das Abteufen des ersten Kalischachtes - Schacht Marie - begann 1897 und des Schachtes Bartenslebens zwischen 1910 und 1912. Die ursprünglich getrennten Gewinnungsbergwerke bilden heute eine Doppelschachtanlage.</p> <p>Nach einem Auswahlverfahren von 10 betrachteten Salzbergwerken wurde das ehemalige Bergwerk Bartensleben als Endlager in der DDR für die Einlagerung schwach- bis mittel-radioaktiver Abfälle ausgewählt. Nach dem Probetrieb erfolgte 1986 die Genehmigung für eine Dauerinbetriebnahme. Insgesamt wurden bis zur Beendigung des Einlagerungsbetriebes im Jahr 1998 (einschließlich des Zeitraumes seit der Wiedervereinigung) rund 37.000 m³ radioaktive Abfälle in Morsleben eingelagert.</p> <p>Am 17. April 2001 hat das BfS der Planfeststellungsbehörde mitgeteilt, dass es unwiderruflich auf die Ausnutzung derjenigen Regelungen der Dauerbetriebsgenehmigung verzichtet, die eine Annahme weiterer radioaktiver Abfälle und deren Einlagerung im Endlager Morsleben gestatten. Das Planfeststellungsverfahren für die Stilllegung soll nun beschleunigt durchgeführt werden.</p>

Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben - ERAM**A Regionale Geologie (20 km×20 km)****A1 Wirtsgestein/Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)****A1.1 Fernerkundung****A1.2 Geophysik (übertägig)**

2D-seismische Messungen im weiteren Umfeld des Endlagerstandortes mit Profilabständen von 1.500 bis 2.500 m zur Präzisierung der Kenntnisse über den Aufbau und die Lagerungsverhältnisse des Nebengebirges und der Zechsteinbasis; Beeinträchtigung der Messqualität bei dichter Bebauung und in einem Gebiet mit Verkarstung.

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 1

Neubearbeitung von gravimetrischen Daten, die für das Gebiet des ERAM und seines regionalen Umfeldes vorlagen (aus den Messprogrammen Flechtingen-Roßlauer Scholle und Subherzyne Senke); Messpunktabstand: 200 - 300 m; quantitative Interpretation unter Einsatz von Modellierungen.

STORK et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 3

Aerogeophysikalische Erkundung der Lithologie des Deckgebirges und von Vorkommen salinarer Grundwässer; magnetische und elektromagnetische Messungen (ein 3-Frequenz-EM-System); Profilabstand 200 m, Messpunktabstand ca. 10 m, Gesamtfläche ca. 240 km².

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 3

A1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Re-Interpretation der vorliegenden Ergebnisse der Bohrlochmessungen des VEB Bohrlochmessung aus dem Messprogramm von 1988 bis 1990; Standardmessprogramm: verschiedene Widerstandsmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), Akustiklog, Kaliber.

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 2

A1.4 Geol. Kartierung

Quartärgeologische Kartierung durchgeführt auf der Basis von Bohrprofilen; Kartenmaßstab 1 : 10.000 im engeren Untersuchungsgebiet, erweitert im Maßstab 1 : 25.000.

STORK et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 2

A1.5 Bohrungen

In den Jahren 1983 bis 1985 sowie 1988 bis 1990 wurden insgesamt 38 gekernte Bohrungen zur Analyse des regionalen geologischen Baus abgeteuft.

STORK et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 1

Zu verschiedenen Zwecken abgeteufte Altbohrungen wurden systematisch erfasst (Blatt Helmstedt 34 Aufschlüsse, Bereich Walbeck 13 Bohrungen, Raum Grasleben bis Schwanenfeld 254 Erkundungsbohrungen, Raum Walbeck-Schwanenfeld 134 Trockenbohrungen bis zu 25 m, im Lappwald 45 Bohrungen, im Allertal 15 Bohrungen).

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 2

In den Jahren 1994 und 1995 wurden 72 gekernte Haupt- und Nebenbohrungen an 42 Lokationen zur hydrogeologischen sowie entwicklungsgeschichtlichen Analyse abgeteuft.

STORK et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 2

A1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A1.7 Feldmessungen - Geochemie

A1.8 Feldmessungen - Geomechanik

A1.9 Labor

A1.10 Untertage Geophysik

A1.11 Untertage geol. Kartierung

A1.12 Untertage Bohrungen

A1.13 Untertage In-situ-Messungen

A1.14 Untertage Labor

A2 Stratigraphie

A2.1 Fernerkundung

A2.2 Geophysik (übertägig)

A2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Re-Interpretation der vorliegenden Ergebnisse der Bohrlochmessungen des VEB Bohrlochmessung aus dem Messprogramm von 1988 bis 1990; Standardmessprogramm: verschiedene Widerstandsmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), Akustiklog, Kaliber; gleiche Datensätze wie bei A1.3.

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 2

A2.4 Geol. Kartierung

Quartärgeologische Kartierung durchgeführt auf der Basis von Bohrprofilen; Kartenmaßstab 1 : 10.000 im engeren Untersuchungsgebiet, erweitert im Maßstab 1 : 25.000.

STORK et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 2

A2.5 Bohrungen

In den Jahren 1983 bis 1985 sowie 1988 bis 1990 wurden insgesamt 38 gekernte Bohrungen zur Analyse des regionalen geologischen Baus abgeteuft.

STORK et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 1

Zu verschiedenen Zwecken abgeteufte Altbohrungen wurden systematisch erfasst (Blatt Helmstedt 34 Aufschlüsse, Bereich Walbeck 13 Bohrungen, Raum Grasleben bis Schwanenfeld 254 Erkundungsbohrungen, Raum Walbeck-Schwanenfeld 134 Trockenbohrungen bis zu 25 m, im Lappwald 45 Bohrungen, im Allertal 15 Bohrungen).

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 2

In den Jahren 1994 und 1995 wurden 72 gekernte Haupt- und Nebenbohrungen an 42 Lokationen zur hydrogeologischen sowie entwicklungsgeschichtlichen Analyse abgeteuft.

STORK et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 2

A2.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A2.7 Feldmessungen - Geochemie

A2.8 Feldmessungen - Geomechanik

A2.9 Labor

A2.10 Untertage Geophysik

A2.11 Untertage geol. Kartierung

A2.12 Untertage Bohrungen

A2.13 Untertage In-situ-Messungen

A2.14 Untertage Labor

A3 Strukturgeologie und Tektonik

A3.1 Fernerkundung

A3.2 Geophysik (übertägig)

2D-seismische Messungen im weiteren Umfeld des Endlagerstandortes mit Profilabständen von 1.500 bis 2.500 m zur Präzisierung der Kenntnisse über den Aufbau und die Lagerungsverhältnisse des Nebengebirges und der Zechsteinbasis; Beeinträchtigung der Messqualität bei dichter Bebauung und in einem Gebiet mit Verkarstung (s. A1.2).

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 1

Neubearbeitung von gravimetrischen Daten, die für das Gebiet des ERAM und seines regionalen Umfeldes vorlagen (aus den Messprogrammen Flechtingen-Roßlauer Scholle und Subherzyne Senke); Messpunktabstand: 200 bis 300 m; quantitative Interpretation unter Einsatz von Modellierungen; gleiche Datensätze wie bei A1.2.

STORK et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 3

Aerogeophysikalische Erkundung der Lithologie des Deckgebirges und von Vorkommen salinärer Grundwässer; magnetische und elektromagnetische Messungen (ein 3-Frequenz-EM-System); Profilabstand 200 m, Messpunktabstand ca. 10 m, Gesamtfläche ca. 240 km²; gleiche Datensätze wie bei A1.2.

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 3

A3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Re-Interpretation der vorliegenden Ergebnisse der Bohrlochmessungen des VEB Bohrlochmessung aus dem Messprogramm von 1988 bis 1990; Standardmessprogramm: verschiedene Widerstandsmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), Akustiklog, Kaliber; gleiche Datensätze wie bei A1.3.

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 2

A3.4 Geol. Kartierung

Quartärgeologische Kartierung durchgeführt auf der Basis von Bohrprofilen; Kartenmaßstab 1 : 10.000 im engeren Untersuchungsgebiet, erweitert im Maßstab 1 : 25.000.

STORK et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 2

A3.5 Bohrungen

In den Jahren 1983 bis 1985 sowie 1988 bis 1990 wurden insgesamt 38 gekernte Bohrungen zur Analyse des regionalen geologischen Baus abgeteuft.

STORK et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 1

Zu verschiedenen Zwecken abgeteufte Altbohrungen wurden systematisch erfasst (Blatt Helmstedt 34 Aufschlüsse, Bereich Walbeck 13 Bohrungen, Raum Grasleben bis Schwanenfeld 254 Erkundungsbohrungen, Raum Walbeck-Schwanenfeld 134 Trockenbohrungen bis zu 25 m, im Lappwald 45 Bohrungen, im Allertal 15 Bohrungen).

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 2

In den Jahren 1994 und 1995 wurden 72 gekernte Haupt- und Nebenbohrungen an 42 Lokationen zur hydrogeologischen sowie entwicklungsgeschichtlichen Analyse abgeteuft.

STORK et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 2

A3.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A3.7 Feldmessungen - Geochemie

A3.8 Feldmessungen - Geomechanik

A3.9 Labor

A3.10 Untertage Geophysik

A3.11 Untertage geol. Kartierung

A3.12 Untertage Bohrungen

A3.13 Untertage In-situ-Messungen

A3.14 Untertage Labor

A4 Regionales Spannungsfeld

A4.1 Fernerkundung

A4.2 Geophysik (übertägig)

A4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A4.4 Geol. Kartierung

A4.5 Bohrungen

A4.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A4.7 Feldmessungen - Geochemie

A4.8 Feldmessungen - Geomechanik

A4.9 Labor

A4.10 Untertage Geophysik

A4.11 Untertage geol. Kartierung

A4.12 Untertage Bohrungen

A4.13 Untertage In-situ-Messungen

A4.14 Untertage Labor

A5 Temperatur und Wärmeleitfähigkeit

A5.1 Fernerkundung

A5.2 Geophysik (übertägig)

A5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

A5.4 Geol. Kartierung

A5.5 Bohrungen

A5.6 Feldmessungen - Geohydraulik

A5.7 Feldmessungen - Geochemie

A5.8 Feldmessungen - Geomechanik

A5.9 Labor

A5.10 Untertage Geophysik

A5.11 Untertage geol. Kartierung

A5.12 Untertage Bohrungen

A5.13 Untertage In-situ-Messungen

A5.14 Untertage Labor

A6 Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z. B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)**A6.1 Fernerkundung****A6.2 Geophysik (übertägig)****A6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A6.4 Geol. Kartierung**

Quartärgeologische Kartierung durchgeführt auf der Basis von Bohrprofilen; Kartenmaßstab 1 : 10.000 im engeren Untersuchungsgebiet, erweitert im Maßstab 1 : 25.000.

STORK et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 2

A6.5 Bohrungen

In den Jahren 1994 und 1995 wurden 72 gekernte Haupt- und Nebenbohrungen an 42 Lokationen zur hydrogeologischen sowie entwicklungsgeschichtlichen Analyse abgeteuft.

STORK et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 2

A6.6 Feldmessungen - Geohydraulik**A6.7 Feldmessungen - Geochemie****A6.8 Feldmessungen - Geomechanik****A6.9 Labor****A6.10 Untertage Geophysik**

1981 erfolgte die Installation eines kurzperiodischen Vertikalseismometers im Grubengebäude Bartensleben; dessen Ergebnisse wurden zusammen mit den Daten des seismischen Stationsnetzes der DDR ausgewertet; aufgrund der großen Abstände der einzelnen Stationen konnten nur seismologische Ereignisse erfasst werden, deren Magnitude größer als 2,0 war; solche Ereignisse wurden in 10 Jahren Beobachtungszeit nicht registriert.

STORK et al. (1998)

Qualität: 1 Quantität: 1

A6.11 Untertage geol. Kartierung**A6.12 Untertage Bohrungen****A6.13 Untertage In-situ-Messungen****A6.14 Untertage Labor****A7 Rohstoffvorkommen****A7.1 Fernerkundung****A7.2 Geophysik (übertägig)****A7.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A7.4 Geol. Kartierung****A7.5 Bohrungen**

A7.6 Feldmessungen - Geohydraulik**A7.7 Feldmessungen - Geochemie****A7.8 Feldmessungen - Geomechanik****A7.9 Labor****A7.10 Untertage Geophysik****A7.11 Untertage geol. Kartierung****A7.12 Untertage Bohrungen****A7.13 Untertage In-situ-Messungen****A7.14 Untertage Labor*****B Eigenschaften des Wirtsgesteins und des Deckgebirges am Standort*****B1 Lithologie/Stratigraphie****B1.1 Fernerkundung****B1.2 Geophysik (übertägig)**

2D-seismische Messungen im Bereich des Endlagerstandortes mit Profilabständen von durchschnittlich 500 m zur Präzisierung der Kenntnisse über den Aufbau und die Lagerungsverhältnisse des Nebengebirges und der Zechsteinbasis; Beeinträchtigung der Messqualität bei dichter Bebauung und in einem Gebiet mit Verkarstung (vgl. A1.2).

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 2

Neubearbeitung von gravimetrischen Daten, die für das Gebiet des ERAM und seines regionalen Umfeldes vorlagen (aus den Messprogrammen Flechtingen-Roßlauer Scholle und Subherzyne Senke); Messpunktabstand: 200 bis 300 m; quantitative Interpretation unter Einsatz von Modellierungen; gleiche Datensätze wie bei A1.2.

STORK et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 3

Aerogeophysikalische Erkundung der Lithologie des Deckgebirges und von Vorkommen salinärer Grundwässer; magnetische und elektromagnetische Messungen (ein 3-Frequenz-EM-System); Profilabstand 200 m, Messpunktabstand ca. 10 m, Gesamtfläche ca. 240 km²; gleiche Datensätze wie bei A1.2.

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 3

B1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Durchführung von Geophonversenkmessungen in 13 Bohrlöchern (bei allen lag die Endteufe tiefer als 150 m); die Ergebnisse dienen der Identifizierung der Reflexionshorizonte und liefern Geschwindigkeiten für die Tiefenwandlung der reflexionsseismischen Profile.

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 2

Neues Bohrprogramm in den Jahren 1994 und 1995 in 72 Haupt- und Nebenbohrungen an 42 Lokationen; Durchführung des Standardmessprogramms: Eigenpotenzialmessungen, verschiedene Widerstandsmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), Kaliber, Neigung sowie ein Sondermessprogramm: Fluid-Conductivity-Log, Akustiklog, Temperatur, Borehole-Imaging, Spektral-Log.

STORK et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 2

B1.4 Geol. Kartierung

Quartärgeologische Kartierung durchgeführt auf der Basis von Bohrprofilen; Kartenmaßstab 1 : 10.000 im engeren Untersuchungsgebiet.

STORK et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 3

B1.5 Bohrungen

In den Jahren 1983 bis 1985 sowie 1988 bis 1990 wurden 19 gekernte Bohrungen zur Erkundung des engeren Standortbereiches abgeteuft.

STORK et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 2

In den Jahren 1994 und 1995 wurden 72 gekernte Haupt- und Nebenbohrungen an 42 Lokationen zur hydrogeologischen sowie entwicklungsgeschichtlichen Analyse abgeteuft.

STORK et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 2

1993 wurden 14 quartärgeologische Flachbohrungen abgeteuft.

STORK et al. 1998

Qualität: 2 Quantität: 1

1993 wurden 74 Rammkernsondierungen abgeteuft.

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 2

B1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B1.7 Feldmessungen - Geochemie

B1.8 Feldmessungen - Geomechanik

B1.9 Labor

B1.10 Untertage Geophysik

Georadar-Messungen in Strecken (insgesamt ca. 24 km) und untertägigen Bohrungen (insgesamt 6 km) zur Erkundung von geologischen Grenzschichten und petrophysikalischen Heterogenitäten; z. T. Beeinflussung der Ergebnisse durch das Grubengebäude selbst.

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 2

B1.11 Untertage geol. Kartierung

32 km Strecke (First und Stöße) wurden im Maßstab 1 : 100 kartiert sowie 13 km im Maßstab 1 : 500 bzw. 1 : 1.000; Abbaukammern wurden im Maßstab 1 : 500 bzw. 1 : 1.000 kartiert.

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 2

B1.12 Untertage Bohrungen

Untertägige Bohrungen in den 1940er bis frühen 1960er Jahren.

STORK et al. (1998)

Qualität: ? Quantität: ?

Untertägige Bohrungen wurden in den 1990er Jahren - Gesamtlänge 3.100 m, 4 Bohrungen im Bereich des Abbaues 1a - sowie geologische Erkundungsbohrungen gekernt gestoßen. Zu geomechanischen Zwecken wurden ca. 250 Bohrungen, davon $\frac{2}{3}$ gekernt, gestoßen.

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B1.13 Untertage In-situ-Messungen**B1.14 Untertage Labor**

Der Stoffbestand des anstehenden Gebirges (z.B. Mineralogie), die auftretenden Gebirgslösungen im Grubengebäude und die Zusammensetzung von Lösungseinschlüssen in Evaporitmineralien wurden seit 1991 zur stratigraphischen und lithologischen Einordnung standortbezogen aufwändig untersucht (z.B. durch TU Clausthal, BGR und GRS). Die stratigraphische Einordnung der Salzgesteine erfolgte analog zu BORNEMANN (1991). *(Hinsichtlich der Bedeutung für die stratigraphische Zuordnung s. auch B6.14)*

Qualität: 3 Quantität: 3

Im Rahmen der geomechanischen Homogenbereichskartierung wurden umfangreiche ein-axiale Kriechversuche durchgeführt, wobei hinsichtlich des Kriechvermögens nicht stets Homogenbereiche analog zur bestehenden stratigraphischen Kartierung ausgewiesen werden konnten, was im Detail zu einer intensiven Überprüfung und in Einzelfällen auch zur Korrektur der lokalen geologischen Gesteinsansprache führte.

Qualität: 1 - 2 Quantität: 1 - 2

B2 Geometrie**B2.1 Fernerkundung****B2.2 Geophysik (übertägig)**

2D-seismische Messungen im Bereich des Endlagerstandortes mit Profilabständen von durchschnittlich 500 m zur Präzisierung der Kenntnisse über den Aufbau und die Lagerungsverhältnisse des Nebengebirges und der Zechsteinbasis; Beeinträchtigung der Messqualität bei dichter Bebauung und in einem Gebiet mit Verkarstung (vgl. A1.2).

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 2

Flachseismische Profile zur Ermittlung des Oberflächenreliefs des Hutgsteins und der Strukturen im Deckgebirge; 25 Profile, insgesamt 97 km lang, überwiegend quer, 2 längs zur Struktur: Profilabstand < 500 m.

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 2

Neubearbeitung von gravimetrischen Daten, die für das Gebiet des ERAM und seines regionalen Umfeldes vorlagen (aus den Messprogrammen Flechtingen-Roßlauer Scholle und Subherzyne Senke); Messpunktabstand: 200 bis 300 m; quantitative Interpretation unter Einsatz von Modellierungen; gleiche Datensätze wie bei A1.2.

STORK et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 3

B2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Neues Bohrprogramm im Zeitraum von 1994 bis 1995 in 72 Haupt- und Nebenbohrungen an 42 Lokationen; Durchführung des Standardmessprogramms: Eigenpotenzialmessungen, verschiedene Widerstandsmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), Kaliber, Neigung sowie ein Sondermessprogramm: Fluid-Conductivity-Log, Akustiklog, Temperatur, Borehole-Imaging, Spektral-Log; gleiche Datensätze wie bei B1.3.

STORK et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 2

B2.4 Geol. Kartierung

B2.5 Bohrungen

In den Jahren 1983 bis 1985 sowie 1988 bis 1990 wurden 19 gekernte Bohrungen zur Erkundung des engeren Standortbereiches abgeteuft.

STORK et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 2

In den Jahren 1994 und 1995 wurden 72 gekernte Haupt- und Nebenbohrungen an 42 Lokationen zur hydrogeologischen sowie entwicklungsgeschichtlichen Analyse abgeteuft.

STORK et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 2

1993 wurden 14 quartärgeologische Flachbohrungen abgeteuft.

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 1

1993 wurden 74 Rammkernsondierungen abgeteuft.

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 2

B2.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B2.7 Feldmessungen - Geochemie

B2.8 Feldmessungen - Geomechanik

B2.9 Labor**B2.10 Untertage Geophysik**

Georadar-Messungen in Strecken (insgesamt ca. 24 km) und untertägigen Bohrungen (insgesamt 6 km) zur Erkundung von geologischen Grenzschichten und petrophysikalischen Heterogenitäten; z.T. Beeinflussung der Ergebnisse durch das Grubengebäude selbst; gleiche Datensätze wie bei B1.10.

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 2

B2.11 Untertage geol. Kartierung

32 km Strecke (First und Stöße) wurden im Maßstab 1 : 100 kartiert sowie 13 km im Maßstab 1 : 500 bzw. 1 : 1.000; Abbaukammern wurden im Maßstab 1 : 500 bzw. 1 : 1.000 kartiert.

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 2

B2.12 Untertage Bohrungen

Untertägige Bohrungen in den 1940er bis frühen 1960er Jahren.

Auswertung von ca. 50 Altbohrungen sowie 12 neuen geologischen Erkundungsbohrungen im Ostfeld und vier im Zentralteil Bartensleben ⇒ Anhand der Bohrungsergebnisse sowie der geophysikalischen Untersuchungen wurde ein 3D-Bild der Internstruktur der Salzformation erstellt.

STORK et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 2

Untertägige Bohrungen wurden in den 1990er Jahren - Gesamtlänge 3.100 m, 4 Bohrungen im Bereich des Abbaues 1a - sowie geologische Erkundungsbohrungen gekernt gestoßen. Zu geomechanischen Zwecken wurden ca. 250 Bohrungen, davon $\frac{2}{3}$ gekernt, gestoßen.

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B2.13 Untertage In-situ-Messungen**B2.14 Untertage Labor****B3 Makro-Struktur****B3.1 Fernerkundung****B3.2 Geophysik (übertägig)**

2D-seismische Messungen im Bereich des Endlagerstandortes mit Profilabständen von durchschnittlich 500 m zur Präzisierung der Kenntnisse über den Aufbau und die Lagerungsverhältnisse des Nebengebirges und der Zechsteinbasis; Beeinträchtigung der Messqualität bei dichter Bebauung und in einem Gebiet mit Verkarstung (vgl. A1.2).

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 2

Flachseismische Profile zur Ermittlung des Oberflächenreliefs des Hutgsteins und der Strukturen im Deckgebirge; 25 Profile, insgesamt 97 km lang, überwiegend quer, 2 längs zur Struktur; Profilabstand < 500 m; gleiche Datensätze wie bei B2.2.

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 2

Neubearbeitung von gravimetrischen Daten, die für das Gebiet des ERAM und seines regionalen Umfeldes vorlagen (aus den Messprogrammen Flechtingen-Roßlauer Scholle und Subherzyne Senke); Messpunktabstand: 200 bis 300 m; quantitative Interpretation unter Einsatz von Modellierungen; gleiche Datensätze wie bei A1.2.

STORK et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 3

B3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

Neues Bohrprogramm im Zeitraum von 1994 bis 1995 in 72 Haupt- und Nebenbohrungen an 42 Lokationen; Durchführung des Standardmessprogramms: Eigenpotenzialmessungen, verschiedene Widerstandsmessungen, radiometrische Messungen (Gamma, Neutron), Kaliber, Neigung sowie ein Sondermessprogramm: Fluid-Conductivity-Log, Akustiklog, Temperatur, Borehole-Imaging, Spektral-Log; gleiche Datensätze wie bei B1.3.

STORK et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 2

B3.4 Geol. Kartierung

Quartärgeologische Kartierung durchgeführt auf der Basis von Bohrprofilen; Kartenmaßstab 1 : 10.000 im engeren Untersuchungsgebiet.

STORK et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 3

B3.5 Bohrungen

In den Jahren 1983 bis 1985 sowie 1988 bis 1990 wurden 19 gekernte Bohrungen zur Erkundung des engeren Standortbereiches abgeteuft.

In den Jahren 1994 und 1995 wurden 72 gekernte Haupt- und Nebenbohrungen an 42 Lokationen zur hydrogeologischen sowie entwicklungsgeschichtlichen Analyse abgeteuft.

STORK et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 2

1993 wurden 14 quartärgeologische Flachbohrungen abgeteuft.

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 1

1993 wurden 74 Rammkernsondierungen abgeteuft.

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 2

B3.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B3.7 Feldmessungen - Geochemie****B3.8 Feldmessungen - Geomechanik****B3.9 Labor****B3.10 Untertage Geophysik**

Georadar-Messungen in Strecken (insgesamt ca. 24 km) und untertägigen Bohrungen (insgesamt 6 km) zur Erkundung von geologischen Grenzschichten und petrophysikalischen Heterogenitäten; z.T. Beeinflussung der Ergebnisse durch das Grubengebäude selbst; gleiche Datensätze wie bei B1.10.

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 2

Seit 1994 werden mikroakustische Dauermessungen (Frequenzbereich zwischen 1 und 100 kHz) im Endlager Morsleben in 3 Gebirgsabschnitten mit linearen Dimensionen von etwa 100 m durchgeführt (SPIES et al. 2002). Über die Bestimmung der räumlichen Lage und der zeitlichen Häufung von Ereignissen lassen sich Schädigungsbereiche im Nahfeld vorhandener Hohlräume oder geologischer Diskontinuitäten lokalisieren. Anhand des Vergleiches mit geomechanischen Modellrechnungen können somit geschädigte Bereiche plausibel ausgewiesen werden (z.B. SPIES & VIOLA 1998). Die Untersuchungen belegen die Auflockerung des Steinsalzes im Bereich der Abbaue und lokale Rissbildungen an der Grenze von Steinsalz und Anhydrit.

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 1

B3.11 Untertage geol. Kartierung

32 km Strecke (First und Stöße) wurden im Maßstab 1 : 100 kartiert sowie 13 km im Maßstab 1 : 500 bzw. 1 : 1.000; Abbaukammern wurden im Maßstab 1 : 500 bzw. 1 : 1.000 kartiert.

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 2

B3.12 Untertage Bohrungen

Untertägige Bohrungen in den 1940er bis frühen 1960er Jahren.

STORK et al. (1998)

Qualität: ? Quantität: ?

Untertägige Bohrungen wurden in den 1990er Jahren - Gesamtlänge 3.100 m, 4 Bohrungen im Bereich des Abbaues 1a - sowie geologische Erkundungsbohrungen gekernt gestoßen. Zu geomechanischen Zwecken wurden ca. 250 Bohrungen, davon $\frac{2}{3}$ gekernt, gestoßen.

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 - 3 Quantität: 2

B3.13 Untertage In-situ-Messungen**B3.14 Untertage Labor**

B4 Mikro-Struktur**B4.1 Fernerkundung****B4.2 Geophysik (übertägig)****B4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B4.4 Geol. Kartierung****B4.5 Bohrungen****B4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B4.7 Feldmessungen - Geochemie****B4.8 Feldmessungen - Geomechanik****B4.9 Labor****B4.10 Untertage Geophysik****B4.11 Untertage geol. Kartierung****B4.12 Untertage Bohrungen****B4.13 Untertage In-situ-Messungen****B4.14 Untertage Labor**

Für verschiedene Fragestellungen (z.B. Morphologie von Fluideinschlüssen, inter- und intrakristalline Verunreinigungen) sind umfangreiche Mikrostrukturuntersuchungen an Steinsalz- und Kaligesteinsproben mittels optischem Mikroskop (Durchlicht/Auflicht) sowie mit dem REM durchgeführt worden. Teilweise wurden diese Untersuchungen durch orts aufgelöste chemische Analysen zu fluiden Komponenten bzw. Matrixeigenschaften des Steinsalzes ergänzt (vgl. Datensätze B6.14). Beispielsweise konnten aufgrund der mikrostrukturellen Untersuchungen die bereits im Projekt Gorleben abgeleiteten Gesetzmäßigkeiten für die Korrelation der Gehalte und mikroskopischen Verteilung von Akzessorien (Sulfatmineralphasen, Ton) mit den gesteinsmechanischen Eigenschaften verschiedener Salzarten bestätigt werden.

HUNSCHE et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 2 (aufwändige Spezialuntersuchungen)

B5 In situ-Spannungsverhältnisse**B5.1 Fernerkundung****B5.2 Geophysik (übertägig)****B5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B5.4 Geol. Kartierung****B5.5 Bohrungen****B5.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B5.7 Feldmessungen - Geochemie****B5.8 Feldmessungen - Geomechanik****B5.9 Labor****B5.10 Untertage Geophysik****B5.11 Untertage geol. Kartierung****B5.12 Untertage Bohrungen**

B5.13 Untertage In-situ-Messungen

Gebirgsspannungsmessungen wurden in den sogen. geotechnischen Bohrungen mittels Hydrofrac, Überbohrmethode nach BGR, Dilatometer, Schlitzentlastungs- und Langzeitspannungsmessungen durchgeführt.

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1

(redundante Messverfahren, aber Anzahl und Ergebnisse der Messungen sind nicht dargestellt)

Im Rahmen der Verfüllung des Zentralteils erfolgt ein Spannungsmonitoring mit fest installierten Spannungsmessstationen (13) und ca. 60 Druckkissen sowie begleitend Hydrofracmessungen im Anstehenden. Die aufgezeichneten Messdaten werden zur Qualifizierung der geomechanischen Modellrechnungen verwendet.

MAUKE et al. (2007)

Qualität: 3 Quantität: 1 - 2 (auf das Zentralfeld konzentriert)

B5.14 Untertage Labor**B6 Mineralogie****B6.1 Fernerkundung****B6.2 Geophysik (übertägig)****B6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B6.4 Geol. Kartierung****B6.5 Bohrungen****B6.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B6.7 Feldmessungen - Geochemie****B6.8 Feldmessungen - Geomechanik****B6.9 Labor****B6.10 Untertage Geophysik****B6.11 Untertage geol. Kartierung****B6.12 Untertage Bohrungen****B6.13 Untertage In-situ-Messungen****B6.14 Untertage Labor**

Analog zu den Untersuchungen im Rahmen des Projektes Gorleben wurden auf vergleichbarem Niveau auch für Morsleben umfangreiche Untersuchungen sowohl von der BGR (STORK, G.-H. et al. 1998) als auch von der TU Clausthal (z.B. HERRMANN & KNIPPING 1993) zum Stoffbestand des Salzgebirges und seiner Entwicklung durchgeführt. Auf Basis dieser Untersuchungen wurde ein umfassender Wissensstand über die Entstehung, stoffliche Zusammensetzung und deren Eigenschaften) der auftretenden Salzgesteine erworben. Das betrifft im Detail:

- mineralogische Zusammensetzung wichtiger Salzgesteine bzw. stratigraphischer Einheiten
- Br-Stratigraphie

- Untersuchung von Poren- oder Laugeneinschlüssen (Gebirgslösungen)
- Untersuchung gasförmiger Komponenten

Qualität: 3 Quantität: 2

B7 Petrophysikalische Eigenschaften

B7a Gesteinsmechanik

B7a.1 Fernerkundung

B7a.2 Geophysik (überflächlich)

B7a.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7a.4 Geol. Kartierung

B7a.5 Bohrungen

B7a.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7a.7 Feldmessungen - Geochemie

B7a.8 Feldmessungen - Geomechanik

Im Rahmen der bergmännischen Nutzung als Gewinnungsbergwerk ist für die Bewertung der Senkungen (Bergschadensanalyse) routinemäßig ein überflächiges Feinnivellementnetzwerk eingerichtet worden, dass im Laufe der historischen Entwicklung den aktuellen Anforderungen angepasst wurde.

Qualität: 1 Quantität: 1 (Details zu den Messungen sind nicht bekannt)

B7a.9 Labor

B7a.10 Untertage Geophysik

B7a.11 Untertage geol. Kartierung

B7a.12 Untertage Bohrungen

B7a.13 Untertage In-situ-Messungen

Seit Beginn der bergmännischen Nutzung wurden standardmäßig sowie intensiviert mit der Einrichtung des Endlagers Extensometer- und Konvergenzmessstellen errichtet sowie mit einem Untertagenivellement begonnen.

Qualität: 1 Quantität: 1 (Details zu den Messungen sind nicht bekannt)

Die im Rahmen der untertägigen Gefahrenabwehr durchgeführten Verfüllmaßnahmen werden durch ein aufwändiges untertägiges Messprogramm begleitet. Die Installationen beinhalten u.a.:

- 20 Extensometermessstellen
- 17 Konvergenzmessstellen
- 2 Messstellen zur Rissweitenbestimmung vorhandener Klüfte
- 4 Inklinometermessstellen

MAUKE et al. (2007)

Qualität: 3 Quantität: 1 - 2 (auf das Zentralfeld konzentriert)

B7a.14 Untertage Labor

In der Schachtanlage Morsleben sind sehr verschiedene Evaporitgesteine (Steinsalz, Kaligstein, Anhydrit etc.) aufgeschlossen, deren unterschiedliches Verhalten von der BGR seit Beginn der 1990er Jahre gebirgsmechanisch umfassend untersucht wurde:

- einaxiale und triaxiale Kriechversuche an Steinsalz- und Kalisalzproben (beinahe 300 Prüfkörper, PLISCHKE 2007), wobei die Untersuchungen von verschiedenen Institutionen (BGR, Uni Karlsruhe, IfG Leipzig) durchgeführt wurden. Vereinzelt wurden Versuchszeiten bis 500 d realisiert.
- Verformungsversuche an Würfelproben aus Steinsalz und Anhydrit zur Ermittlung der Festigkeit und der Dilatanzgrenze (mehrere umfangreiche Serien)
- Sonderversuche an Steinsalz mit einem Wechsel von verformungsgeregelter Deformation zu mehreren eingeschalteten Kriechphasen
- triaxiale Druckversuche zur Permeabilitätsentwicklung unter Schädigungs- und Verheilungsbedingungen (mit ergänzendem Ultraschallmonitoring)

Darüber hinaus gibt es noch ältere Untersuchungsergebnisse aus der Zeit vor 1990, die aber aufgrund der damaligen schlechteren Versuchstechniken für die Bewertung nicht herangezogen wurden.

Die Bestimmung von Homogenbereichen ist eine zentrale Aufgabe der standortspezifischen Untersuchungen. In Verbindung mit den Ergebnissen der untertägigen Kartierung konnte ein 3D-Modell mit Abgrenzung verschiedener Homogenbereiche (Bereich mit gleichen mechanischen Kriecheigenschaften, so dass er mit demselben Stoffgesetz und den gleichen Stoffparametern beschrieben werden kann) ausgewiesen werden.

PLISCHKE (2007)

Auf Basis geomechanischer Modellrechnungen (FEM) können Prognosen zur Langzeitentwicklung des Grubengebäudes bzw. der Integrität der geologischen Barrieren durchgeführt werden (vgl. *entsprechende Passagen B3.13*).

Qualität: 2 - 3 Quantität: 3

(Einaxiale Kriechversuche sind aufgrund von sekundären Effekten, z.B. Auflockerung, von eingeschränkter Aussagefähigkeit für die Kartierung mechanischer Gesteinseigenschaften.)

B7b Hydraulisch (z. B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)**B7b.1 Fernerkundung****B7b.2 Geophysik (übertägig)****B7b.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7b.4 Geol. Kartierung****B7b.5 Bohrungen****B7b.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7b.7 Feldmessungen - Geochemie****B7b.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7b.9 Labor****B7b.10 Untertage Geophysik****B7b.11 Untertage geol. Kartierung****B7b.12 Untertage Bohrungen**

B7b.13 Untertage In-situ-Messungen

Im Grubengebäude Morsleben wurden in 22 Bohrungen Permeabilitätsmessungen durchgeführt (STORK et al., 1998) sowie zusätzlich zur Bewertung der Permeabilität im Umfeld der Schächte Bartensleben und Marie (WITTKKE 1999).

Qualität: 2 Quantität: 1

(Die räumliche Ausbreitung der Permeabilität ist methodisch nicht bestimmbar. Weiterhin sind die bisher durchgeführten Bohrlochmessungen nur lokal von Relevanz. Obwohl zwar grundsätzlich Gesetzmäßigkeiten zur Geologie, z.B. bzgl. Steinsalz/Anhydrit-Übergang, aufgezeigt werden, ist noch keine umfassende auf Messungen basierende Bewertung der Situation des Grubengebäudes möglich. Erst weiter in Verbindung mit qualifizierten Modellrechnungen sind derartige Aussagen möglich.)

Bewertung der gleichen Datensätze wie bei B3.13.

Es ist anzumerken, dass sich über Untertagemessungen auch Homogenbereiche hinsichtlich der Auflockerung und Permeabilität ausweisen lassen, die zwar ebenfalls von den originären Gesteinseigenschaften (Festigkeit, Kriechen) abhängen, wesentlicher kann hier jedoch der von der Hohlraumgeometrie, Durchbauungsgrad und Lagerungsverhältnissen abhängige Spannungs- und Deformationszustand sein.

Unter Berücksichtigung dieser Rahmenbedingungen wurde unter Einbeziehung vorliegender Literaturergebnisse zu den verschiedenen Gesteinseinheiten eine Einschätzung der Permeabilität der Gebirgsbarriere im Südfeld, Westfeld, Ostfeld, Südostfeld und Abbausystem 1a/Hauptmulde durch die BGR vorgenommen und durch lokale Messungen verifiziert. Darüber hinaus liegt ein qualitativer Vergleich mit Modellrechnungen zur Schädigungsentwicklung vor. Dabei wurde insbesondere der Zusammenhang von Permeabilität und Dilatanz, wie er über das sogen. BGR-Dilatanzkonzept beschrieben wird, bestätigt.

HUNSCHKE et al. (2003)

Die Auflockerungszonen um Einzelhohlräume sind, sofern keine zusätzlichen mechanischen Belastungen aufgrund der Nähe zu großen Abbaukammern oder zur Grenze von Gesteinen mit unterschiedlichen Festigkeiten vorliegen, um Strecken weniger als 1 m und um Abbaukammern bis 2 m mächtig. In Hohlraumnahbereichen werden in Teufen um 20 cm Permeabilitäten bis 10^{-15} m^2 angetroffen. Salzton besitzt für Gas keine Durchlässigkeit über 10^{-20} m^2 und ist für Lösungen geringpermeabel im Bereich von 10^{-18} bis 10^{-19} m^2 . Der Hauptanhydrit ist heterogen mit wechselnden Permeabilitäten von $\leq 10^{-20} \text{ m}^2$ bis in den Bereich $\geq 10^{-15} \text{ m}^2$. Ungeklüfteter Hauptanhydrit hat für Gas und Lösungen keine Durchlässigkeit über 10^{-20} m^2 .

Qualität: 2 Quantität: 2

(Die Entwicklung numerischer Rechenverfahren mit neuen Stoffgesetzen erlauben zwar grundsätzlich eine Bewertung der Schädigungsintensität, allerdings noch keine quantitative Korrelation mit der Permeabilität bzw. eine Bestimmung ihrer Richtungsabhängigkeit (Anisotropie).)

B7b.14 Untertage Labor

Ausgehend von Kernmaterial aus untertägigen Erkundungsbohrungen wurden im Rahmen verschiedener Forschungsvorhaben exemplarische Permeabilitätsmessungen an Steinsalz aus dem ERAM sowie Referenzmaterial von anderen Standorten (u.a. Gorleben) untersucht. Im Ergebnis dieser Untersuchungen wurden grundsätzliche Beziehungen zur Schädigung und Verheilung in Salzgesteinen entwickelt.

HUNSCHKE et al. (2003)

Qualität: 2 - 3 Quantität: 1

(Die Entwicklung numerischer Rechenverfahren mit neuen Stoffgesetzen erlauben zwar grundsätzlich eine Bewertung der Schädigungsintensität, allerdings noch keine Korrelation mit der Richtungsabhängigkeit bzw. quantitative Aussagen.)

B7c Diffusion

Anmerkung: Diffusionsprozesse sind im dichten Steinsalz grundsätzlich vernachlässigbar. Allerdings liegen Ergebnisse aus generischen Untersuchungen vor, die durch die GRS im Forschungsbergwerk Asse durchgeführt wurden.

B7c.1 Fernerkundung

B7c.2 Geophysik (übertägig)

B7c.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7c.4 Geol. Kartierung

B7c.5 Bohrungen

B7c.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7c.7 Feldmessungen - Geochemie

B7c.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7c.9 Labor

B7c.10 Untertage Geophysik

B7c.11 Untertage geol. Kartierung

B7c.12 Untertage Bohrungen

B7c.13 Untertage In-situ-Messungen

B7c.14 Untertage Labor

B7d Thermisch

B7d.1 Fernerkundung

B7d.2 Geophysik (übertägig)

B7d.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7d.4 Geol. Kartierung

B7d.5 Bohrungen

B7d.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7d.7 Feldmessungen - Geochemie

B7d.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7d.9 Labor

B7d.10 Untertage Geophysik

B7d.11 Untertage geol. Kartierung

B7d.12 Untertage Bohrungen

B7d.13 Untertage In-situ-Messungen

Zur Erfassung des Temperaturfeldes wurden im Bereich der Grubengebäude in 45 untertägigen Bohrungen mittels beweglicher Bohrlochsonden die Gebirgstemperaturen gemessen. Um eine von Bewetterung möglichst unbeeinflusste Temperatur zu erhalten, wurden die Messungen nur in Bohrungen durchgeführt, die mindestens 40 m (bis über 350 m) von der Strecke ins Gebirge reichen.

Qualität: 3 Quantität: 3

B7d.14 Untertage Labor

Ergänzend zu den Bohrlochmessungen wurden im Labor die Wärmeleitfähigkeiten der verschiedenen Salzgesteine bestimmt - 47 Proben aus 6 stratigrafisch unterschiedlichen Einheiten.

Qualität: 2 Quantität: 1 - 2

(Großräumige Untertageversuche fehlen, sind allerdings vor dem Hintergrund der eingelagerten Abfallarten nicht von Bedeutung.)

B7e THMC-Kopplung**B7e.1 Fernerkundung****B7e.2 Geophysik (übertägig)****B7e.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7e.4 Geol. Kartierung****B7e.5 Bohrungen****B7e.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7e.7 Feldmessungen - Geochemie****B7e.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7e.9 Labor****B7e.10 Untertage Geophysik****B7e.11 Untertage geol. Kartierung****B7e.12 Untertage Bohrungen****B7e.13 Untertage In-situ-Messungen****B7e.14 Untertage Labor****B7f Chemische Eigenschaften (z. B. Oxidation, Adsorption)****B7f.1 Fernerkundung****B7f.2 Geophysik (übertägig)****B7f.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7f.4 Geol. Kartierung****B7f.5 Bohrungen****B7f.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7f.7 Feldmessungen - Geochemie**

B7f.8 Feldmessungen - Geomechanik**B7f.9 Labor****B7f.10 Untertage Geophysik****B7f.11 Untertage geol. Kartierung****B7f.12 Untertage Bohrungen****B7f.13 Untertage In-situ-Messungen****B7f.14 Untertage Labor*****C Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)*****C1 Hydraulisch wirksame Einheiten****C1.1 Fernerkundung****C1.2 Geophysik (übertägig)****C1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C1.4 Geol. Kartierung****C1.5 Bohrungen**

In den Jahren 1994 und 1995 wurden 72 gekernte Haupt- und Nebenbohrungen an 42 Lokationen zur hydrogeologischen sowie entwicklungsgeschichtlichen Analyse abgeteuft.

STORK et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 2

Es wurden 1994 und 1995 Kurzpumpversuche in 66 Grundwassermessstellen zur Ermittlung hydrochemischer Daten, hydraulischer Potenziale und nachgeordnet hydraulischer Parameter durchgeführt.

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 2

C1.6 Feldmessungen - Geohydraulik

In den Jahren 1994 und 1995 wurden 76 hydraulische Packertests in 22 Bohrungen zur Bestimmung der Permeabilität und des Formationsdruckes des Deckgebirges ausgeführt.

STORK et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 2

C1.7 Feldmessungen - Geochemie**C1.8 Feldmessungen - Geomechanik****C1.9 Labor****C1.10 Untertage Geophysik****C1.11 Untertage geol. Kartierung****C1.12 Untertage Bohrungen****C1.13 Untertage In-situ-Messungen**

C1.14 Untertage Labor**C2 Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein****C2.1 Fernerkundung****C2.2 Geophysik (übertägig)****C2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C2.4 Geol. Kartierung****C2.5 Bohrungen****C2.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

In den Jahren 1994 und 1995 wurden 76 hydraulische Packertests in 22 Bohrungen zur Bestimmung der Permeabilität und des Formationsdruckes des Deckgebirges ausgeführt.

STORK et al. (1998)

Qualität: 1 Quantität: 2

Es wurden 1994 und 1995 Kurzpumpversuche in 66 Grundwassermessstellen zur Ermittlung hydrochemischer Daten, hydraulischer Potenziale und nachgeordnet hydraulischer Parameter durchgeführt.

STORK et al. (1998)

Qualität: 1 Quantität: 2

Messungen der Grundwasserspiegelhöhen erfolgten in 127 Grundwassermessstellen im weiteren Bereich (einschl. Stadtwerke Helmstedt, Trinkwasserversorgungs-GmbH Magdeburg).

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 1

C2.7 Feldmessungen - Geochemie**C2.8 Feldmessungen - Geomechanik****C2.9 Labor****C2.10 Untertage Geophysik****C2.11 Untertage geol. Kartierung****C2.12 Untertage Bohrungen****C2.13 Untertage In-situ-Messungen**

Zur Bestimmung möglicher Fluiddrücke im Gestein wurden Druckaufbautests bei zutretenden Lösungen in mit Packern abgeschlossenen Bohrungen durchgeführt.

WEBER et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 1

C2.14 Untertage Labor

C3 Fließ- und Speicherparameter**C3.1 Fernerkundung****C3.2 Geophysik (übertägig)****C3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C3.4 Geol. Kartierung****C3.5 Bohrungen****C3.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

In den Jahren 1994 und 1995 wurden 76 hydraulische Packertests in 22 Bohrungen zur Bestimmung der Permeabilität und des Formationsdruckes des Deckgebirges ausgeführt.

STORK et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 2

Es erfolgten 1994 und 1995 Kurzpumpversuche in 66 Grundwassermessstellen zur Ermittlung hydrochemischer Daten, hydraulischer Potenziale und nachgeordnet hydraulischer Parameter.

STORK et al. (1998)

Qualität: 1 Quantität: 2

61 Tracerversuche (Verdünnungsversuche) wurden zur Bestimmung der Grundwassergeschwindigkeit und der Strömungsrichtung in 36 Grundwassermessstellen durchgeführt.

STORK et al. (1998)

Qualität: 1 Quantität: 3

C3.7 Feldmessungen - Geochemie**C3.8 Feldmessungen - Geomechanik****C3.9 Labor****C3.10 Untertage Geophysik****C3.11 Untertage geol. Kartierung****C3.12 Untertage Bohrungen****C3.13 Untertage In-situ-Messungen**

Packertests wurden zur Bestimmung der Permeabilität des Salinars in > 20 Bohrungen sowie im Nahbereich um Einzelhohlräume in 66 Bohrungen durchgeführt.

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 3

C3.14 Untertage Labor**C4 Zwei-Phasenflussparameter****C4.1 Fernerkundung****C4.2 Geophysik (übertägig)****C4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

C4.4 Geol. Kartierung**C4.5 Bohrungen****C4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****C4.7 Feldmessungen - Geochemie****C4.8 Feldmessungen - Geomechanik****C4.9 Labor****C4.10 Untertage Geophysik****C4.11 Untertage geol. Kartierung****C4.12 Untertage Bohrungen****C4.13 Untertage In-situ-Messungen****C4.14 Untertage Labor*****D Hydrochemie*****D1 Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)****D1.1 Fernerkundung****D1.2 Geophysik (übertägig)****D1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D1.4 Geol. Kartierung****D1.5 Bohrungen****D1.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D1.7 Feldmessungen - Geochemie****D1.8 Feldmessungen - Geomechanik****D1.9 Labor**

Isotopen-Untersuchungen an 80 Grundwasserproben und an Porenlösungen in Gesteinsproben von 24 frischen Bohrkernen (^2H , ^{18}O).

STORK et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 1

Isotopen-Untersuchungen an 80 Grundwasserproben und an Porenlösungen in Gesteinsproben von 24 frischen Bohrkernen (^3H).

STORK et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 1

Isotopen-Untersuchungen an 80 Grundwasserproben und an Porenlösungen in Gesteinsproben von 24 frischen Bohrkernen (^{14}C).

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 1

Edelgas-Untersuchungen an 80 Grundwasserproben und an Porenlösungen in Gesteinsproben von 24 frischen Bohrkernen (He).

STORK et al. (1998)

Qualität: 1 Quantität: 1

D1.10 Untertage Geophysik**D1.11 Untertage geol. Kartierung****D1.12 Untertage Bohrungen****D1.13 Untertage In-situ-Messungen****D1.14 Untertage Labor****D2 Porenwasserchemismus****D2.1 Fernerkundung****D2.2 Geophysik (übertägig)****D2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D2.4 Geol. Kartierung****D2.5 Bohrungen****D2.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D2.7 Feldmessungen - Geochemie****D2.8 Feldmessungen - Geomechanik****D2.9 Labor**

142 Grundwasserproben aus den hydrostratigrafischen Einheiten wurden chemisch (Hauptionen) analysiert.

STORK et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 1

Proben des Oberflächengewässers von 9 Messstellen wurden chemisch analysiert (HCO_3).

STORK et al. (1998)

Qualität: 2 Quantität: 1

Proben der Oberflächengewässer von 9 Messstellen wurden chemisch analysiert (gelöste Haupt-substanzen).

STORK et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 1

D2.10 Untertage Geophysik**D2.11 Untertage geol. Kartierung**

Die im Grubengebäude vorkommenden salinaren Lösungen wurden bereits vor 1990 hinsichtlich einer möglichen Gefährdung erfasst und bezüglich der geologischen Rahmenbedingungen bewertet sowie chemisch analysiert. Nach 1990 wurden diese Untersuchungen noch intensiviert. Unter Federführung des BfS wurde ein Verzeichnis aller in den zugänglichen Teilen des Grubengebäudes auftretenden Lösungsvorkommen (Tropf und Standlösungen) erstellt und genetisch bezgl. ihrer Herkunft (z.B. anthropogen beeinflusst, primäre Salzlösung oder sekundär durch Kontakt mit Wässern aus dem Deck- und Nebengebirge verändert) bewertet (vgl. D2.14).

STORK et al. (1998)

Qualität: 3 Quantität: 2

D2.12 Untertage Bohrungen**D2.13 Untertage In-situ-Messungen****D2.14 Untertage Labor**

Alle untertage angetroffenen salinaren Lösungen (durch Bohrung oder als Zutritt in den Strecken bzw. Kammern) wurden chemisch analysiert und hinsichtlich ihrer Entstehung (Genese) und Herkunft interpretiert. Die Zutritte salinarer Lösungen wurden routinemäßig auf ihre Haupt- und Nebenbestandteile chemisch analysiert. An Hauptbestandteilen wurde Na, K, Mg, Ca, Cl und SO₄ analysiert. Ebenso wurden die Nebenbestandteile Br, Li und Rb für die genetische Interpretation bestimmt. Ein Großteil der Elemente wurde durch Atomemission mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES) und Atommassenspektrometrie mit Probeneinführung über ein induktiv gekoppeltes Plasma (ICP-MS) bestimmt. Chlorid und Bromid wurden durch Titration bestimmt, Bromid z.T. auch durch Ionenchromatographie.

Qualität: 3 Quantität: 3

D3 Transporteigenschaften**D3.1 Fernerkundung****D3.2 Geophysik (übertägig)****D3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D3.4 Geol. Kartierung****D3.5 Bohrungen****D3.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D3.7 Feldmessungen - Geochemie****D3.8 Feldmessungen - Geomechanik****D3.9 Labor****D3.10 Untertage Geophysik****D3.11 Untertage geol. Kartierung****D3.12 Untertage Bohrungen****D3.13 Untertage In-situ-Messungen****D3.14 Untertage Labor****D4 Kolloide usw.****D4.1 Fernerkundung****D4.2 Geophysik (übertägig)****D4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D4.4 Geol. Kartierung****D4.5 Bohrungen****D4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D4.7 Feldmessungen - Geochemie****D4.8 Feldmessungen - Geomechanik****D4.9 Labor**

D4.10 Untertage Geophysik**D4.11 Untertage geol. Kartierung****D4.12 Untertage Bohrungen****D4.13 Untertage In-situ-Messungen****D4.14 Untertage Labor****Literatur**

- BORNEMANN, O. (1991): Zur Geologie des Salzstocks Gorleben nach den Bohrergebnissen. BfS-SCHR-4/1991 Salzgitter. (mit einem Beitrag von R. Fischbeck)
- FAHLAND, S., EICKEMEIER, R., HEUSERMANN, S., NIPP, H.-K. & PREUSS, J. (2007): Three-dimensional geomechanical modelling of old mining rooms in the central part of the Bartensleben salt mine. In: Wallner, M., Lux, K.-H., Minkley, W. & Hardy, H.-R. (Eds.) 6th Conference on the Mechanical Behavior of Salt "Saltmech6", Hannover, Germany 22-25 May 2007, Taylor & Francis, London, 337-344.
- HELLER, M., MAUKE, R., MOHLFELD, M. & SKRZYPPEK, J. (2004): ERAM-SIS: A spatial information system for visualization and management of geotechnical data, Proc. Distec 2004.
- HERRMANN, A. G. & KNIPPING, B. (1993): Fluide Komponenten als Teile des Stoffbestandes der Evaporite im Salzstock Gorleben - Vorkommen, Herkunft, Entstehung und Wechselwirkungen mit den Salzgesteinen. – Bericht, 140 S. Clausthal-Zellerfeld.
- HUND, W. et al. (2004): Stabilization measures of the Central part of the Morsleben Repository (bGZ), WM'04, Conference, 2004.
- HUNSCHKE, U., PLISCHKE, I. & SCHULZE, O. (1998): ERA Morsleben - Gebirgsmechanische Untersuchungen im Labor und in situ. BGR-Abschlussbericht. Tgb.-Nr.: 10683/98.
- HUNSCHKE, U., PLISCHKE, I., SCHULZE, O. & WALTER, F. (2003): Projekt Gorleben - Thermomechanisches Verhalten von Salzgestein (Abschlussbericht) (unveröff. BGR-Bericht im Auftrag des BfS).
- MAUKE, R., STIELOW, B. & MOHLFELD, M. (2007): Geotechnical control of critical construction elements during backfilling activities of the ERAM - Experiences gained in using the observation method. In: Wallner, M., Lux, K.-H., Minkley, W. & Hardy, H.-R. (Eds.) 6th Conference on the Mechanical Behavior of Salt "Saltmech6", Hannover, Germany 22-25 May 2007, Taylor & Francis, London, 345-350.
- PLISCHKE, I. (2007): Determination of mechanical homogenous areas in the rock salt mass using creep properties for a classification schem. In: Wallner, M., Lux, K.-H., Minkley, W. & Hardy, H.-R. (Eds.) 6th Conference on the Mechanical Behavior of Salt "Saltmech6", Hannover, Germany 22-25 May 2007, Taylor & Francis, London, 321-325.
- SCHULZE, O. & POPP, T. (2002): Untersuchungen zum Dilatanzkriterium und zum Laugendruckkriterium für die Beurteilung der Integrität eines Endlagerbergwerks in einer Steinsalzformation.- Z. f. Angew. Geologie 2: 16-22.
- SPIES, T. & VIOLA S. (1998): Untersuchung der Auflockerung des Salzgebirges mit mikroakustischen Messungen und geomechanischen Modellberechnungen. -Geotechnik 21 (3), 243-247. Verlag Glückauf, Essen.
- SPIES, T., EISENBLÄTTER, J. & MANTHEI, G. (2002): Neue Entwicklungen in der Mikroakustik am Beispiel von Messungen im Endlager Morsleben, Zeitschrift für Angewandte Geologie (2/2002), 30-37.
- STORK, G.-H. et al. (1998): ERA Morsleben: Geologische Standortbeschreibung. BGR, Hannover. (unveröffentlichter Bericht im Auftrag des BfS)

- WEBER, J. R., BORNEMANN, O. & MINGERZAHN, G. (1998): Lösungen und Gase in Salzstrukturen - Beurteilung der Bedeutung für Untertagedeponien. - Geotechnik 21 (3), 229-233. Verlag Glückauf, Essen.
- WITTKE, B. (1999): Permeabilität von Steinsalz, Theorie und Experiment. Verlag Glückauf, Essen.

Morsleben	Erkundungs- methoden: 1-9 übertägig 10-14 untertägig	Fernerkundung	Geophysik (übertägig)	Geophysik (im Bohrloch)	Geol. Kartierung	Bohrungen	Feldmessungen - Geohydraulik	Feldmessungen - Geochemie	Feldmessungen - Geomechanik	Labor	Geophysik	geologische Kartierung	Bohrungen	In-situ- Messungen	Labor
Inhalte der Themenkomplexe	Bezeichnungen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Regionale Geologie (20 km*20 km)															
Wirtsgestein / Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)	A1														
Stratigraphie	A2														
Strukturgeologie und Tektonik (Störungsmuster, Faltung)	A3														
Regionales Spannungsfeld	A4														
Temperatur und Wärmeleitfähigkeit	A5														
Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z.B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)	A6														
Rohstoffvorkommen	A7														
Eigenschaften des Wirtsgesteins und der Rahmengesteine am Standort															
Lithologie	B1														
Geometrie (Tiefenlage, Ausdehnung)	B2														
Makro-Struktur (Großgefüge: Störungen / Faltungen / Deformationen / Klüfte)	B3														
Mikro-Struktur (Korngefüge / Porenstruktur)	B4														
In-situ-Spannungsverhältnisse	B5														
Mineralogie	B6														
Petrophysikalische Eigenschaften (Probenmaßstab):															
Gesteinsmechanik (z.B. Festigkeit, Kriechen)	B7a														
Hydraulik (z.B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)	B7b														
Diffusion	B7c														
Thermik	B7d														
THMC-Kopplung	B7e														
Chemismus (z.B. Oxidation, Adsorption)	B7f														
Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)															
Hydraulisch wirksame Einheiten	C1														
Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein	C2														
Fließ- und Speicherparameter	C3														
Zwei-Phasenfluss-Parameter	C4														
Hydrochemie															
Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)	D1														
Porenwasserchemismus	D2														
Transporteigenschaften	D3														
Kolloide usw.	D4														
		Erkundungsaktivität													

Anhang 17

Dokumentation -
Endlager Konrad

Standort:	Konrad (D)
Name - Typ:	Endlager Konrad: Endlager für LAW/MAW in der ehemaligen Schachtanlage Konrad der Salzgitter Erzbergbau AG
Lage:	im südöstlichen Niedersachsen auf dem Gebiet der Stadt Salzgitter in der Nähe des Stadtteils Salzgitter-Bleckenstedt, Regierungsbezirk Braunschweig
Betreiber:	Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)
Fläche:	untertägiges Grubengebäude mit einer Ausdehnung von etwa 2 x 3 km
Erschließung / Teufenlage:	Die Eisenerzlagerstätte wurde durch zwei Schächte erschlossen, von denen Schacht Konrad I ca. 1.232 m und Schacht Konrad II ca. 999 m tief ist. Das Erzlager wurde zwischen 850 und 1.200 m Tiefe abgebaut und ist von sechs in 800, 850, 1.000, 1.100, 1.200 und 1.300 m Tiefe aufgefahrenen Hauptsohlen zugänglich. Das Grubengebäude hat einen Hohlraum von ca. 1 Mill. m ³ .
Geologie:	<p>Das Gebiet von Salzgitter liegt im nördlichen Harzvorland innerhalb des "Subherzynen Beckens", welches von den paläozoischen Grundgebirgszügen des Harzes im Süden und dem Flechtinger Höhenzug im Nordosten begrenzt wird.</p> <p>Die als Endlager vorgesehene Eisenerzlagerstätte ist in einem Teiltrog dieses Beckens, dem sog. Gifhorner Trog, ausgebildet. Der erzführenden Bereich reicht von Salzgitter-Hallendorf bis in das Gebiet von Vorhop nördlich von Gifhorn und erstreckt sich über eine Länge von etwa 60 km. Die Breite dieses Eisenerztroges beträgt zwischen 8 und 15 km.</p> <p>Im Bereich der Schachtanlage Konrad liegt die erzführende Schicht in einer Tiefe von etwa 1.000 m und hat hier eine Mächtigkeit von max. 18 m bei einem Ost-West-Einfallen von 23-25°. Die erzführenden Schichten sind vor rd. 135 - 140 Mio. Jahren im Oberen Jura (Malm, Korallenoolith) abgelagert worden. Petrographisch ist das Erz ein Brauneisensilikatoolith, bestehend aus 0,2 - 0,4 mm Ooiden mit Limonit- oder Quarzkern und Hüllschalen aus Goethit, etwas Rubinglimmer (Lepidokrokit) oder Hämatit.</p> <p>Die günstige Gesamtsituation wird bestimmt durch die große Tiefe der vorgesehenen Einlagerungsfelder (ca. 1.000 m) und durch die Überdeckung der Wirtsformation mit barrierewirksamen Gesteinen, u.a. den bis 400 Meter dicken, sehr gering durchlässigen Ton- und Mergelsteinen der Unterkreide.</p>
Historie:	<p>Die 1960 begonnene Förderung wurde 1976 aus wirtschaftlichen Gründen eingestellt. Bis dahin wurden insgesamt 6,6 Millionen Tonnen Eisenerz gewonnen, die etwa 0,5% Erz der gewinnbaren Lagerstätte darstellen.</p> <p>Wegen ihrer für ein Eisenerzbergwerk außergewöhnlichen Trockenheit wurde die Schachtanlage auf ihre grundsätzliche Eignung zur Aufnahme von radioaktiven Abfällen untersucht. Im Jahre 1975 begann die Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH (GSF) sowie das Kernforschungszentrum Karlsruhe (KfK) im Auftrage des Bundes, erste wissenschaftliche Untersuchungen durchzuführen, die die Eignung als Endlager für radioaktive Abfälle überprüfen sollten. Besonders die geologischen und bergtechnischen Gegebenheiten für eine mögliche Endlagerung von radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung sollten geprüft werden.</p>

	<p>Nach positivem Abschluss dieser Untersuchungen stellte die damals zuständige Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) 1982 am 31. August 1982 den Antrag auf Einleitung des atomrechtlichen Planfeststellungsverfahrens gemäß § 9 AtG.</p> <p>Die dafür gesetzlich vorgeschriebene Sicherheitsanalyse für ein Endlager für radioaktive Abfälle wurde zwischen 1982 und 1990 unter landesbehördlicher Begleitung für das Gesamtsystem Endlager Konrad (geologische Verhältnisse, Abfallarten, Einlagerungstechnik) erarbeitet.</p> <p>Nach Erteilung des Planfeststellungsbeschlusses 2002 durch das Niedersächsische Umweltministerium sowie dessen letztinstanzlichen juristischen Bestätigung findet aktuell die Vorbereitung zur Einlagerung statt, wobei die Eröffnung des Endlagers Konrad voraussichtlich Ende 2013 sein wird.</p>
--	--

Endlager Konrad**Anmerkung:**

Aufgrund der langen Zeitdauer des Genehmigungsverfahrens spiegeln die den Bearbeitern vorliegenden Daten den Stand der Erkundungsmaßnahmen von 1982 bis 1990 wieder. In den letzten 20 Jahren, seit Abschluss der Arbeiten, hat sich allerdings, insbesondere für die Bewertung der Barriereigenschaften von Tongesteinen, ein erheblicher Erkenntnisgewinn bezüglich der grundlegenden Prozesse und relevanten Materialeigenschaften sowie eine signifikante Weiterentwicklung der zu ihrer Untersuchung eingesetzten Messverfahren ergeben. Insofern werden die zu erwartenden Daten bezüglich ihrer Qualität und auch Quantität niedrigere Werte liefern. Teilweise werden auch Themenkomplexe, die damals nicht Untersuchungsgegenstand waren, überhaupt nicht abgedeckt. Unabhängig davon ist Konrad ein genehmigtes Endlager, wobei die vorhandenen Daten nach gutachterlicher Einschätzung ausreichend sind.

A Regionale Geologie (20 km×20 km)**A1 Wirtsgestein/Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)****A1.1 Fernerkundung****A1.2 Geophysik****A1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A1.4 Geol. Kartierung****A1.5 Bohrungen****A1.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A1.7 Feldmessungen - Geochemie****A1.8 Feldmessungen - Geomechanik****A1.9 Labor****A1.10 Untertage Geophysik****A1.11 Untertage geol. Kartierung****A1.12 Untertage Bohrungen****A1.13 Untertage In-situ-Messungen****A1.14 Untertage Labor****A2 Stratigraphie****A2.1 Fernerkundung****A2.2 Geophysik (übertägig)****A2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A2.4 Geol. Kartierung****A2.5 Bohrungen****A2.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A2.7 Feldmessungen - Geochemie****A2.8 Feldmessungen - Geomechanik****A2.9 Labor**

A2.10 Untertage Geophysik**A2.11 Untertage geol. Kartierung****A2.12 Untertage Bohrungen****A2.13 Untertage In-situ-Messungen****A2.14 Untertage Labor****A3 Strukturgeologie und Tektonik****A3.1 Fernerkundung**

Mit Hilfe von Satellitenbildern konnten Lineationsnetze an der Oberfläche ermittelt werden, bei denen jedoch davon ausgegangen wird, dass kein Zusammenhang mit den aus dem Untergrund bekannten Strukturen besteht.

Qualität: Quantität:

Keine Bewertung aufgrund der für das Endlager nicht relevanten Information.

A3.2 Geophysik (übertägig)**A3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A3.4 Geol. Kartierung****A3.5 Bohrungen****A3.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A3.7 Feldmessungen - Geochemie****A3.8 Feldmessungen - Geomechanik****A3.9 Labor****A3.10 Untertage Geophysik****A3.11 Untertage geol. Kartierung****A3.12 Untertage Bohrungen****A3.13 Untertage In-situ-Messungen****A3.14 Untertage Labor****A4 Regionales Spannungsfeld****A4.1 Fernerkundung****A4.2 Geophysik (übertägig)****A4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A4.4 Geol. Kartierung****A4.5 Bohrungen****A4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A4.7 Feldmessungen - Geochemie****A4.8 Feldmessungen - Geomechanik****A4.9 Labor****A4.10 Untertage Geophysik**

A4.11 Untertage geol. Kartierung**A4.12 Untertage Bohrungen****A4.13 Untertage In-situ-Messungen****A4.14 Untertage Labor****A5 Temperatur und Wärmeleitfähigkeit****A5.1 Fernerkundung****A5.2 Geophysik (übertägig)****A5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A5.4 Geol. Kartierung****A5.5 Bohrungen****A5.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A5.7 Feldmessungen - Geochemie****A5.8 Feldmessungen - Geomechanik****A5.9 Labor****A5.10 Untertage Geophysik****A5.11 Untertage geol. Kartierung****A5.12 Untertage Bohrungen****A5.13 Untertage In-situ-Messungen****A5.14 Untertage Labor****A6 Geodynamik/Entwicklungsgeschichte (z.B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)****A6.1 Fernerkundung****A6.2 Geophysik (übertägig)**

Die Bewertung der seismologischen Verhältnisse erfolgt anhand einer Zusammenstellung seismologischer Ereignisse, die vom regionalen Netzwerk der seismologischen Stationen aufgenommen oder aus historischen Recherchen entnommen wurden.

Qualität: 1 Quantität: 1

A6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**A6.4 Geol. Kartierung****A6.5 Bohrungen****A6.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A6.7 Feldmessungen - Geochemie****A6.8 Feldmessungen - Geomechanik****A6.9 Labor****A6.10 Untertage Geophysik****A6.11 Untertage geol. Kartierung****A6.12 Untertage Bohrungen**

A6.13 Untertage In-situ-Messungen**A6.14 Untertage Labor****A7 Rohstoffvorkommen**

Anmerkung aus BfS (1990):

In der Grube Konrad wurde das untere Eisenerzlager im Korallenoolith im südlichen Randbereich des Gifhorner Troges abgebaut. Im Modellgebiet Konrad sind Vorkommen von Eisenerzen, Kohlenwasserstoffen, Salzen sowie Steinen und Erden bekannt, die teilweise gewonnen werden und/oder in der Zukunft gewonnen werden könnten. Erdöl- und/oder Erdgaslagerstätten sind im Bereich der Grube Konrad nicht gefunden worden. Potenziell kohlenwasserstoffhaltige Strukturen wurden südlich der Grube Konrad festgestellt; eine künftige Exploration und Produktion wäre dort grundsätzlich möglich. Auch eine Exploration und spätere Gewinnung von Salzen in den im Bereich des Modellgebietes liegenden Zechstein-Salzstöcken wäre denkbar.

Nach heutigen Gesichtspunkten werden die Erzvorkommen im Gifhorner Trog als nicht abbauwürdige Armerze eingestuft; sie werden jedoch als Zukunftsreserve betrachtet. Die geologische Begutachtung und Abschätzung einer endlagerbedingten Radionuklidkonzentration im Erz haben ergeben, dass durch das Endlager Konrad nur ein sehr kleiner Teil der vorhandenen Gesamterzvorräte einer möglichen späteren Nutzung entzogen würde.

A7.1 Fernerkundung**A7.2 Geophysik (übertägig)****A7.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****A7.4 Geol. Kartierung****A7.5 Bohrungen****A7.6 Feldmessungen - Geohydraulik****A7.7 Feldmessungen - Geochemie****A7.8 Feldmessungen - Geomechanik****A7.9 Labor****A7.10 Untertage Geophysik****A7.11 Untertage geol. Kartierung****A7.12 Untertage Bohrungen****A7.13 Untertage In-situ-Messungen****A7.14 Untertage Labor*****B Eigenschaften des Wirtsgesteins und der Rahmengesteine am Standort*****B1 Lithologie/Stratigraphie****B1.1 Fernerkundung**

B1.2 Geophysik

Siehe Datensatz B2.2

Qualität: 2 Quantität: 2

(Detailberichte liegen nicht vor, aber Einschätzung in BfS (1990) konstatiert gute Datenbasis!)

B1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

In der Bohrung Konrad 101 (480 m östlich vom Schacht 2 der Schachtanlage Konrad) wurden Eigenpotenzial- (SP), Widerstands- (DIFL), Gammalog- und BHC ACOUSTICLOG-Messungen zur lithostratigraphischen Zuordnung durchgeführt.

GERARDI (1988b)

Qualität: 2 Quantität: 1

B1.4 Geol. Kartierung**B1.5 Bohrungen**

Einschließlich der beiden Schächte der Schachtanlage Konrad 2 gab es im Raum Salzgitter über 90 Aufschlüsse mit zusammen 95.940 m Bohrstrecke.

BfS (1990)

Mit der Bohrung Konrad 101 wurde ein vollständig gekerntes geologisches Profil durch das Deckgebirge bis ins Liegende des Endlagers erbohrt. Die Bohrung erschloss dabei insbesondere die abdichtenden Schichten der Kreide und des Oberen Jura und endete bei 1.000,75 m Tiefe im Mittleren Dogger. Für die Korrelation können verschiedene benachbarte Bohrungen (u.a. Bohrung Bleckenstedt 2, Sauingen 2 sowie Profil Schacht 2) herangezogen werden.

GERARDI (1988b)

Qualität: 3 Quantität: 1

(Nur eine hoch aufgelöste Bohrung, ansonsten nur vereinzelte Kernstücke ohne integrales Untersuchungsprogramm, allerdings Neubewertung durch GERARDI 1988b.)

B1.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B1.7 Feldmessungen - Geochemie****B1.8 Feldmessungen - Geomechanik****B1.9 Labor**

Ausgehend vom Kernmaterial der Bohrung Konrad 101 sind umfangreiche mineralogische, geochemische und stratigraphische bzw. paläontologische Untersuchungen zu den verschiedenen lithologischen Einheiten des Bergwerkes Konrad vom Hangenden bis zum Liegenden in den 80er Jahren durch die BGR durchgeführt worden (vgl. RÖSCH 1985; ECKHARDT 1985). Als Indikator einer diagenetischen Einwirkung wurden tonmineralogische Untersuchungen sowie der Inkohlungsgrad organischer Substanz (Vitrinitreflektion) bestimmt, die ausschließlich „normale“ geothermische und Teufenbedingungen infolge sedimentärer Überlagerung und entsprechender Versenkung nachwiesen.

Im Ergebnis konnten 6 stratigraphische Einheiten vom Hangenden, ausgehend von der Basis des Cenoman bis zum Top des Doggers bzw. zur Endteufe nachgewiesen werden.

Qualität: 2 Quantität: 2

(Umfangreiche Datenmengen, die mit Standardverfahren bearbeitet wurden und eine zuverlässige lithologische Zuordnung erlauben, allerdings fehlen eine gleichwertige Bearbeitung paralleler Bohrungen, um ein detailliertes 3D-Modell der abdichtenden Deckgebirgsschichten zu erstellen und Spezialuntersuchungen, ausgehend vom heutigen Kenntnisstand zu Eigenschaften von Tongesteinen.)

B1.10 Untertage Geophysik

Kalibrierung von SP-Widerstandsmesskurven aus Bohrungen mit einer handvermessenen Gamma-Kurve entlang eines diskreten Aufschlussbereiches, entlang eines Streckenprofils im Grubengebäude.

http://www.bgr.bund.de/cln_011/nn_324878/DE/Themen/Geotechnik/Projekte/Endlagerstandorte/Schachanlage_Konrad_Korrelation_Streckenprofils_Tiefbohrung.html

Qualität: 1 Quantität: 1 (Detailuntersuchung)

B1.11 Untertage geol. Kartierung

Im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens zur Errichtung eines Endlagers für radioaktive Abfälle in der Schachanlage Konrad bei Salzgitter war es aufgrund der RSK-Sicherheitskriterien erforderlich, den geplanten Einlagerungsbereich allseitig bergmännisch zu umfahren. In diesem Zusammenhang wurden zusätzlich zu den bereits vorhandenen untertägigen Aufschlüssen weitere Strecken aufgefahren. Die untertägige Erkundung umfasste:

- die Auffahrung von Untersuchungsstrecken auf der 800-m-Sohle sowie
- der 1.300-m-Sohle bis zum äußeren Rand der vorgesehenen Einlagerungsfelder südlich des Bleckenstedter Sprungs
- die Verlängerung des Schachtquerschlags auf der 1.000-m-Sohle vom Schacht Konrad 1 in Richtung Osten zur Erkundung der Lagerstättenverhältnisse nördlich des Bleckenstedter Sprungs
- das Auffahren einer Rampe oberhalb der 1.100-m-Sohle

Durch Kernbohrungen und geologische Kartierungen erfolgte die exakte stratigraphische Positionierung dieser Strecken. Spezielle Bohrungen hatten das Ziel, die geomechanischen, hydraulischen und lithologischen Eigenschaften und Mächtigkeiten der im Grubengebäude aufgeschlossenen Schichten, insbesondere des Korallenooliths, beschreiben zu können. Zu diesem Zweck wurden auch alte Bohrungen neu bearbeitet und in die Bewertungen einbezogen. Ebenso wurden die Stratigraphie, die Mineralogie und Geochemie der Schachtprofile nach damaligen Standards untersucht und beschrieben. Daraus ergaben sich wichtige Daten für die Bewertung der geologischen Barriere.

GERARDI (1988a)

Qualität: 3 Quantität: 3

(Es ist nicht zu erwarten, dass eine Neubearbeitung mit aktuellen Methoden essentielle Neuerkenntnisse bezüglich der Gesteinslithologie bzw. des Lagerstättenaufbaus liefern kann.)

B1.12 Untertage Bohrungen

Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.11.

Qualität: 3 Quantität: 3

B1.13 Untertage In-situ-Messungen

B1.14 Untertage Labor

Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.11.

Qualität: 3 Quantität: 3

B2 Geometrie**B2.1 Fernerkundung****B2.2 Geophysik (übertägig)**

Reflexionsseismische Messungen (Sprengseismik) auf 9 Profilen mit einer Gesamtlänge von ca. 82 km zur Gewinnung von Erkenntnissen über den strukturellen Aufbau in der Umgebung des Grubengebäudes:

- Anregungspunktabstand: 80 m
- Geophongruppenabstand: 40 m
- Aufstellungsweite: 1.260 m bzw. 1.280 m
- Überdeckungsgrad: 15-fach

Durchschallungsmessungen zwischen zwei Punkten an der Erdoberfläche (18 m tiefe Bohrlöcher) und der Sohle 3 bzw. der Sohle 5 der Schachtanlage Konrad.

GBS (1984)

Qualität: 2 Quantität: 2

B2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**B2.4 Geol. Kartierung****B2.5 Bohrungen**

Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.5.

Qualität: 3 Quantität: 1

B2.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B2.7 Feldmessungen - Geochemie****B2.8 Feldmessungen - Geomechanik****B2.9 Labor****B2.10 Untertage Geophysik****B2.11 Untertage geol. Kartierung**

Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.11.

Qualität: 3 Quantität: 3

B2.12 Untertage Bohrungen

Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.11.

Qualität: 3 Quantität: 3

B2.13 Untertage In-situ-Messungen

B2.14 Untertage Labor**B3 Makro-Struktur****B3.1 Fernerkundung****B3.2 Geophysik (übertägig)**

Reflexionsseismische Messungen (Sprengseismik) auf 9 Profilen mit einer Gesamtlänge von ca. 82 km zur Gewinnung von Erkenntnissen über den strukturellen Aufbau in der Umgebung des Grubengebäudes sowie Durchschallungsmessungen zwischen zwei Punkten an der Erdoberfläche und der Sohle 3 bzw. Sohle 5 (GBS 1984). Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B2.2.

Qualität: 2 Quantität: 2

B3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**B3.4 Geol. Kartierung****B3.5 Bohrungen**

Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.5.

Qualität: 3 Quantität: 1

B3.6 Feldmessungen - Geohydraulik**B3.7 Feldmessungen - Geochemie****B3.8 Feldmessungen - Geomechanik****B3.9 Labor****B3.10 Untertage Geophysik****B3.11 Untertage geol. Kartierung**

Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.11.

Qualität: 3 Quantität: 3

B3.12 Untertage Bohrungen

Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.11.

Qualität: 3 Quantität: 3

B3.13 Untertage In-situ-Messungen

Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B7a.13 - umfangreiches In-situ-Messprogramm der untertägigen Deformationen im Grubenfeld: u.a. Langzeitmessungen an zwei Bohrungen, die sowohl kompaktes Wirtsgestein als auch in einem Fall eine Großstörung (Bleckenstedter Sprung) durchhörtern.

GERARDI et al. (1995)

Qualität: 2 Quantität: 3

(Mittels der durchgeführten Messungen lassen sich lokale Phänomene in den verschiedenen Grubenbereichen qualitativ erklären, allerdings fehlt ein komplexes 3D-Modell unter Einbeziehung aller geologischen und geomechanischen Kenndaten.)

B3.14 Untertage Labor**B4 Mikro-Struktur****B4.1 Fernerkundung****B4.2 Geophysik (übertägig)****B4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B4.4 Geol. Kartierung****B4.5 Bohrungen****B4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B4.7 Feldmessungen - Geochemie****B4.8 Feldmessungen - Geomechanik****B4.9 Labor**

Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.9.

Dokumentation der Gesteinsgefüge sowie mikrostrukturelle Untersuchungen mittels REM und optischer Mikroskopie.

GERARDI (1988a); RÖSCH (1985)

Qualität: 2 Quantität: 1

(Bezogen auf die Mikrostruktur nur Detailuntersuchungsergebnisse, wobei vergleichsweise wenige Proben untersucht wurden; aktuelle Verfahren liefern komplexere Messergebnisse.)

B4.10 Untertage Geophysik**B4.11 Untertage geol. Kartierung****B4.12 Untertage Bohrungen****B4.13 Untertage In-situ-Messungen****B4.14 Untertage Labor****B5 In-situ-Spannungsverhältnisse****B5.1 Fernerkundung****B5.2 Geophysik (übertägig)****B5.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B5.4 Geol. Kartierung****B5.5 Bohrungen****B5.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B5.7 Feldmessungen - Geochemie****B5.8 Feldmessungen - Geomechanik****B5.9 Labor**

B5.10 Untertage Geophysik

Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B5.13.

Die entlang einer Bohrung beobachteten Geschwindigkeitsvariationen ergaben qualitative Hinweise auf die mechanische Belastung des durchschallten Gebirges, wobei es keine signifikanten Änderungen über einen mehrwöchigen Messzyklus gab. Dieses Ergebnis wurde als Indiz gedeutet, dass die konturnahe Spannungumlagerung nach wenigen Wochen abgeklungen ist.

Qualität: 2 Quantität: 1

B5.11 Untertage geol. Kartierung**B5.12 Untertage Bohrungen****B5.13 Untertage In-situ-Messungen**

Im Rahmen der Auffahrung von Modellstrecken für die spätere Einlagerung wurde im Umfeld der Kammern 101s, 241s, 231s sowie der Wetterstrecke 110 ein umfangreiches geotechnisches Messprogramm durchgeführt:

- Messung des primären Spannungsfeldes und dessen zeitliche Veränderungen (mittels BGR-Überbohrsonde bzw. GLÖTZL-Druckkissen)
- Dilatometermessungen der lokalen Gebirgsverformungen bei Bohrlochaufweitungsversuchen
- Extensions- und Konvergenzmessungen im Anstehenden
- Ultraschallbohrlochmessungen

Darüber hinaus wurden numerische Berechnungen zur Standsicherheit bzw. zur Bewertung der Messergebnisse durchgeführt.

Die Mittelwerte der maximalen Spannungswerte lagen bei 21 MPa (annähernd die gleiche Größenordnung wie die lithostatischen Teufendrucke) bzw. die minimalen bei 14,8 MPa, wobei das Spannungsregime annähernd vertikal ausgerichtet ist ($\pm 20^\circ$). Mittels des Spannungsmonitorings konnte die hohlraumbedingte Entspannung des Gebirges, aber auch die Spannungumlagerung auf das Tragsystem belegt werden.

DIEKMANN et al. (1991)

Qualität: 1 - 2 Quantität: 1

(Nur für das Testfeld 5/1 bestimmt, wobei redundante Messverfahren fehlen und kein vollständiger Spannungstensor.)

B5.14 Untertage Labor**B6 Mineralogie****B6.1 Fernerkundung****B6.2 Geophysik (übertägig)****B6.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B6.4 Geol. Kartierung****B6.5 Bohrungen****B6.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

B6.7 Feldmessungen - Geochemie**B6.8 Feldmessungen - Geomechanik****B6.9 Labor**

Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B1.9.

Zusätzlich umfassende mineralogisch-petrographische Charakterisierung der vorliegenden Materialsuite auf Basis von Bohrkernmaterial aus der Bohrung K101 sowie der untertägigen Erkundung.

ECKHARDT & GERARDI (1990); ECKHARDT et al. (1989, 1990a, b); GERARDI (1988a); RÖSCH (1985)

Qualität: 2 Quantität: 2

B6.10 Untertage Geophysik**B6.11 Untertage geol. Kartierung****B6.12 Untertage Bohrungen****B6.13 Untertage In-situ-Messungen****B6.14 Untertage Labor**

Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B6.9.

Ergebnisse der untertägigen Erkundung s. zusätzlich auch MATTIAT & KREIMEYER (1991).

Qualität: 2 Quantität: 2

B7 Petrophysikalische Eigenschaften**B7a Gesteinsmechanik****B7a.1 Fernerkundung****B7a.2 Geophysik (übertägig)****B7a.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7a.4 Geol. Kartierung****B7a.5 Bohrungen****B7a.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7a.7 Feldmessungen - Geochemie****B7a.8 Feldmessungen - Geomechanik**

Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B7a.13 - Langzeitmessungen der übertägigen Senkungen (40 km² Messarray mit 350 Messpunkten) sowie analytische Simulationsrechnungen zur Senkungsprognose.

Qualität: 2 Quantität: 3

B7a.9 Labor

Auf Basis von Kernmaterial der Bohrung von K101 sowie der untertägigen Erkundung wurden umfangreiche geotechnische Untersuchungen (statische elastische Kennwerte, Festigkeit, Kriechen) sowohl zum geomechanischen Verhalten der Wirtsfornation sowie der überlagernden Deckgebirgsschichten durchgeführt.

SCHNIER (1986a, b, 1987); SCHULZE (1986)

Dabei wurden mittels der durchgeführten einaxialen und triaxialen Festigkeitsuntersuchungen sowie Dauerstandtests nachgewiesen, dass die im Deckgebirge vorliegenden Tonsteine weitgehend plastisch ohne kataklastisches Bruchfließen verformbar sind, d.h. ihre Dichtwirkung und mechanische Integrität während einer Verformung erhalten. Für alle relevanten Gesteinseinheiten wurden belastbare, statistisch abgesicherte Festigkeitsparameter bestimmt.

Auf deren Basis wurden numerische Modellrechnungen zur Standsicherheit des Grubengebäudes durchgeführt.

BfS (1990)

Darüber hinaus wurden auch Ultraschallgeschwindigkeiten zur Ableitung dynamisch bestimmter elastischer Kenngrößen bestimmt.

ALHEID (1986); JARITZ (1985, 1989)

Qualität: 1 - 2 Quantität: 1 - 2

(Die ermittelten Gesteinsparameter sind Standardparameter vor allem zur Bewertung der Standsicherheit. Aktuelle Messverfahren und Modellansätze liefern darüber hinaus wesentliche Erkenntnisse zu Schädigungsprozessen bzw. der Bewertung der Barrierenintegrität.)

B7a.10 Untertage Geophysik

B7a.11 Untertage geol. Kartierung

B7a.12 Untertage Bohrungen

B7a.13 Untertage In-situ-Messungen

Gebirgsmechanische Messungen in Strecken und Abbaukammern der Grube Konrad und geodätische Messungen der abbaubedingten übertägigen Senkungen in deren Umfeld wurden durch die Markscheideri in der Zeit des Bergbaubetriebes zur Erzgewinnung (1964 bis 1976) und in den Jahren danach durchgeführt. Infolge der bergmännischen Erkundung der Lagerstätte sowie den in den nachfolgenden Jahren durchgeführten Messprogrammen liegen somit umfangreiche Erfahrungen und langjährige Messwerte zur Standsicherheit der Wirtsformation sowie der zu erwartenden Konvergenz von Hohlräumen am Standort Konrad vor (z.B. GERARDI 1988a; GERARDI et al. 1995):

- Konvergenz von Hohlräumen (Streckenquerschnitt sowie Senkung der Firste) - in allen Bereichen des Bergwerkes mit 14 Messstationen (Auflösung: 10 µm)
- Extensometermessungen in der Gebirgskontur
- geotechnische Messprogramme im Rahmen der Versuchskammerauffahrung Feld 5/1
- Bohrlochkonvergenz sowie Verschiebung beidseitig einer Störung
- Gebirgsspannungen
- Messungen in den Schächten (Schachtteufenmessung)
- Messungen der übertägigen (40 km² Messarray mit 350 Messpunkten) und untertägigen (ab 1964 260 Messpunkte) Senkungen sowie Simulationsrechnungen zu Senkungen

Mittels vorliegender Messwerte wurden analytische Berechnungen zur Standsicherheit des Grubengebäudes und der zu erwartenden Senkungen kalibriert.

BfS (1992)

Qualität: 2 Quantität: 3

(Es liegt kein 3D-Modell des Grubengebäudes vor, das unter Anwendung moderner Stoffgesetze eine Rückrechnung der zu beobachtenden Gebirgsbewegungen erlaubt.)

B7a.14 Untertage Labor

Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B7a.9.

Qualität: 1 - 2 Quantität: 1 - 2

B7b Hydraulisch (z. B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)**B7b.1 Fernerkundung****B7b.2 Geophysik (übertägig)****B7b.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7b.4 Geol. Kartierung****B7b.5 Bohrungen****B7b.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7b.7 Feldmessungen - Geochemie****B7b.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7b.9 Labor**

Angaben über die Porositäten der präquartären Schichten stammen aus Laboruntersuchungen an Kernen der Bohrung K101 und an Gesteinsproben, die aus den Schächten, aus dem Grubengebäude und aus Erdölbohrungen entnommen worden sind.

BfS (1990)

An Kernmaterial aus der Bohrung K101 wurden Porositäten (Wassertränkung) bestimmt.

MÜLLER (1986); MÜLLER et al. (1986)

Qualität: 1 Quantität: 1 (Originalarbeiten liegen nicht vor)

B7b.10 Untertage Geophysik**B7b.11 Untertage geol. Kartierung****B7b.12 Untertage Bohrungen****B7b.13 Untertage In-situ-Messungen****B7b.14 Untertage Labor**

Verwendung der gleichen Datensätze wie bei B7b.9.

Qualität: 1 Quantität: 1

B7c Diffusion**B7c.1 Fernerkundung****B7c.2 Geophysik (übertägig)****B7c.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7c.4 Geol. Kartierung****B7c.5 Bohrungen****B7c.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7c.7 Feldmessungen - Geochemie****B7c.8 Feldmessungen - Geomechanik**

B7c.9 Labor

B7c.10 Untertage Geophysik

B7c.11 Untertage geol. Kartierung

B7c.12 Untertage Bohrungen

B7c.13 Untertage In-situ-Messungen

B7c.14 Untertage Labor

B7d Thermisch

B7d.1 Fernerkundung

B7d.2 Geophysik (übertägig)

B7d.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7d.4 Geol. Kartierung

B7d.5 Bohrungen

B7d.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7d.7 Feldmessungen - Geochemie

B7d.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7d.9 Labor

B7d.10 Untertage Geophysik

B7d.11 Untertage geol. Kartierung

B7d.12 Untertage Bohrungen

B7d.13 Untertage In-situ-Messungen

B7d.14 Untertage Labor

B7e THMC-Kopplung

B7e.1 Fernerkundung

B7e.2 Geophysik (übertägig)

B7e.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

B7e.4 Geol. Kartierung

B7e.5 Bohrungen

B7e.6 Feldmessungen - Geohydraulik

B7e.7 Feldmessungen - Geochemie

B7e.8 Feldmessungen - Geomechanik

B7e.9 Labor

B7e.10 Untertage Geophysik

B7e.11 Untertage geol. Kartierung

B7e.12 Untertage Bohrungen

B7e.13 Untertage In-situ-Messungen

B7e.14 Untertage Labor

B7f Chemische Eigenschaften (z. B. Oxidation, Adsorption)**B7f.1 Fernerkundung****B7f.2 Geophysik (übertägig)****B7f.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****B7f.4 Geol. Kartierung****B7f.5 Bohrungen****B7f.6 Feldmessungen - Geohydraulik****B7f.7 Feldmessungen - Geochemie****B7f.8 Feldmessungen - Geomechanik****B7f.9 Labor****B7f.10 Untertage Geophysik****B7f.11 Untertage geol. Kartierung****B7f.12 Untertage Bohrungen****B7f.13 Untertage In-situ-Messungen****B7f.14 Untertage Labor*****C Hydrogeologie des Wirtsgesteins und der Rahmengesteine (Feldmaßstab)*****C1 Hydraulisch wirksame Einheiten****C1.1 Fernerkundung****C1.2 Geophysik (übertägig)****C1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)**

In der Bohrung Konrad 101 wurden insgesamt 12 Temperaturmessungen mit einer hochauflösenden Bohrlochmessapparatur (KWA 20600, Entwicklung der BGR) primär mit dem Ziel durchgeführt, Zuflüsse von Formationswässern im Bohrloch nachzuweisen und zu lokalisieren. Anomalien traten in den Bohrlochabschnitten deutlich hervor, für die die hydraulischen Tests erhöhte Durchlässigkeiten ergeben hatten.

KOPIETZ & JUNG (1986)

Qualität: 2 Quantität: 1

C1.4 Geol. Kartierung**C1.5 Bohrungen****C1.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

In der Bohrung Konrad 101 (Lage ca. 500 östlich des Schachtes Konrad 2) wurde eine Serie von Packer- und Pumptests durchgeführt, die folgende Zielsetzung hatten:

- Erkundung der Barrierewirkung der Nichtleiter, d.h. der Ton- und Mergelsteine der Unterkreide und des Jura
- Bestimmung der Durchlässigkeit und Druckpotenziale der wasserleitenden bzw. potenziell wasserleitenden Horizonte

Die Bestimmung von formationsspezifischen Gesteinsdurchlässigkeiten bzw. statischen Fluiddrücken erfolgte mit Einzelpackern (Test gegen das Bohrlochende zum Unverritzten) bzw. Doppelpackersystemen als „slug-injection“- bzw. „slug withdrawal“-Test.

KLINGE & NEUMANN-REDLING (1986)

Qualität: 3 Quantität: 1

C1.7 Feldmessungen - Geochemie

C1.8 Feldmessungen - Geomechanik

C1.9 Labor

Geologische und hydrogeologische Analysendaten von Gesteins- und Wasserproben waren bereits im Zusammenhang mit der Prospektion und Gewinnung von festen, flüssigen und gasförmigen Rohstoffen (neben Erz und Salz vor allem Erdöl, Erdgas und Grundwasser) ermittelt worden und konnten zusammen mit den gezielt im Rahmen der Eignungsuntersuchungen gewonnenen Analysendaten zur Bewertung der geologisch-hydrogeologischen Gesteinseigenschaften und der Grundwasserbeschaffenheit ausgewertet wurden.

BfS (1990)

Qualität: 1 Quantität: 1 (die Quellen sind nicht bekannt)

C1.10 Untertage Geophysik

C1.11 Untertage geol. Kartierung

Die Gesamtflussmenge ins Bergwerk (Formationswässer) wird mit ca. 40 l/min angegeben, wobei alle Zuflüsse soweit möglich erfasst und beprobt werden. Allerdings ist zumeist die Verdunstungsrate zu hoch, um signifikante Fluidmengen auffangen zu können.

KLINGE & NEUMANN-REDLING (1986)

Qualität: 3 Quantität: 1

C1.12 Untertage Bohrungen

C1.13 Untertage In-situ-Messungen

C1.14 Untertage Labor

C2 Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein

C2.1 Fernerkundung

C2.2 Geophysik (übertägig)

C2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)

C2.4 Geol. Kartierung

C2.5 Bohrungen

C2.6 Feldmessungen - Geohydraulik

Verwendung der gleichen Datensätze wie bei C1.6.

Qualität: 3 Quantität: 1

C2.7 Feldmessungen - Geochemie

C2.8 Feldmessungen - Geomechanik

C2.9 Labor**C2.10 Untertage Geophysik****C2.11 Untertage geol. Kartierung****C2.12 Untertage Bohrungen****C2.13 Untertage In-situ-Messungen****C2.14 Untertage Labor****C3 Fließ- und Speicherparameter****C3.1 Fernerkundung****C3.2 Geophysik (übertägig)****C3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C3.4 Geol. Kartierung****C3.5 Bohrungen****C3.6 Feldmessungen - Geohydraulik**

In der Bohrung Konrad 101 (Lage ca. 500 östlich des Schachtes Konrad 2) wurde eine Serie von Packer- und Pumptests durchgeführt, die folgende Zielsetzung hatten:

- Erkundung der Barrierewirkung der Nichtleiter, d.h. der Ton- und Mergelsteine der Unterkreide und des Jura
- Bestimmung der Durchlässigkeit und Druckpotenziale der wasserleitenden bzw. potenziell wasserleitenden Horizonte

Die Bestimmung von formationsspezifischen Gesteinsdurchlässigkeiten bzw. statischen Fluiddrücken erfolgte mit Einzelpackern (Test gegen das Bohrlochende zum Unverritzten) bzw. Doppelpackersystemen als „slug-injection“- bzw. „slug withdrawal“-Test.

KLINGE & NEUMANN-REDLING (1986)

Qualität: 3 Quantität: 1

C3.7 Feldmessungen - Geochemie**C3.8 Feldmessungen - Geomechanik****C3.9 Labor****C3.10 Untertage Geophysik****C3.11 Untertage geol. Kartierung**

Die Gesamtflussmenge ins Bergwerk (Formationswässer) wird mit ca. 40 l/min angegeben. In einer Erkundungsbohrung auf der 3. Sohle wurden über einen Zeitraum von mehreren Jahren Druckaufbau- sowie Messungen der zutretenden Fluidmenge in der Wirtsformation durchgeführt.

KLINGE & NEUMANN-REDLING (1986)

Qualität: 3 Quantität: 1

C3.12 Untertage Bohrungen**C3.13 Untertage In-situ-Messungen****C3.14 Untertage Labor**

C4 Zwei-Phasenfluss-Parameter**C4.1 Fernerkundung****C4.2 Geophysik (übertägig)****C4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****C4.4 Geol. Kartierung****C4.5 Bohrungen****C4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****C4.7 Feldmessungen - Geochemie****C4.8 Feldmessungen - Geomechanik****C4.9 Labor****C4.10 Untertage Geophysik****C4.11 Untertage geol. Kartierung****C4.12 Untertage Bohrungen****C4.13 Untertage In-situ-Messungen****C4.14 Untertage Labor*****D Hydrochemie*****D1 Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)****D1.1 Fernerkundung****D1.2 Geophysik (übertägig)****D1.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D1.4 Geol. Kartierung****D1.5 Bohrungen****D1.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D1.7 Feldmessungen - Geochemie****D1.8 Feldmessungen - Geomechanik****D1.9 Labor****D1.10 Untertage Geophysik****D1.11 Untertage geol. Kartierung****D1.12 Untertage Bohrungen****D1.13 Untertage In-situ-Messungen****D1.14 Untertage Labor****D2 Porenwasserchemismus****D2.1 Fernerkundung****D2.2 Geophysik (übertägig)****D2.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D2.4 Geol. Kartierung****D2.5 Bohrungen**

D2.6 Feldmessungen - Geohydraulik**D2.7 Feldmessungen - Geochemie****D2.8 Feldmessungen - Geomechanik****D2.9 Labor**

Eine Wasserprobe des Brunnens Söhlde (15 km westlich der Schachtanlage) wurde für die spezifischen Aktivitäten natürlicher Radionuklide analysiert.

FABER (1985)

Qualität: 1 Quantität: 1

Eine Wasserprobe des Brunnens Söhlde (15 km westlich der Schachtanlage) wurde chemisch analysiert.

FABER (1985)

HCO₃

Qualität: 2 Quantität: 1

Gelöste Hauptsubstanzen: Na, K, Ca, Mg, Cl, SO₄, NO₃, F, Sr, Fe, Si, Mn, Ba, Si, Br, O₂

Qualität: 3 Quantität: 1

2 Wasserproben von Pumpversuchen in abgepackerten Abschnitten der Tiefbohrung Konrad 101 (bis 214 m) wurden chemisch analysiert.

FABER (1985)

HCO₃

Qualität: 2 Quantität: 1

Gelöste Hauptsubstanzen: Na, K, Ca, Mg, Cl, SO₄, NO₃, F, Sr, Fe, Si, Mn, Ba, Si, Br, O₂

Qualität: 3 Quantität: 1

D2.10 Untertage Geophysik**D2.11 Untertage geol. Kartierung****D2.12 Untertage Bohrungen****D2.13 Untertage In-situ-Messungen****D2.14 Untertage Labor**

Eine Wasserprobe vom Schacht Konrad 2 (Hils-Sandstein) wurde für die spezifischen Aktivitäten natürlicher Radionuklide analysiert.

FABER (1985)

Qualität: 1 Quantität: 1

Eine Wasserprobe vom Schacht Konrad 2 (Hils-Sandstein) wurde chemisch analysiert.

FABER (1985)

HCO₃

Qualität: 2 Quantität: 1

Gelöste Hauptsubstanzen: Na, K, Ca, Mg, Cl, SO₄, NO₃, F, Sr, Fe, Si, Mn, Ba, Si, Br, O₂

Qualität: 3 Quantität: 1

D3 Transporteigenschaften**D3.1 Fernerkundung****D3.2 Geophysik (übertägig)****D3.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D3.4 Geol. Kartierung****D3.5 Bohrungen****D3.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D3.7 Feldmessungen - Geochemie****D3.8 Feldmessungen - Geomechanik****D3.9 Labor**

15 Gesteinsproben aus Steinbrüchen sowie Bohrungen wurden Sorptionsversuche - Batch (Schüttelversuche und Säulen) sowie Diffusionsversuche unterzogen, um die Verteilungskoeffizienten für einen Satz von 18 Radionukliden zu bestimmen.

TITTEL et al. (1986)

Qualität: 3 Quantität: 1

D3.10 Untertage Geophysik**D3.11 Untertage geol. Kartierung****D3.12 Untertage Bohrungen****D3.13 Untertage In-situ-Messungen****D3.14 Untertage Labor**

7 Gesteinsproben aus der Schachthanlage Konrad wurden Sorptionsversuchen - Batch (Schüttelversuche und Säulen) sowie Diffusionsversuchen unterzogen, um die Verteilungskoeffizienten für einen Satz von 18 Radionukliden zu bestimmen.

TITTEL et al. (1986)

Qualität: 3 Quantität: 1

D4 Kolloide usw.**D4.1 Fernerkundung****D4.2 Geophysik (übertägig)****D4.3 Geophysik (Bohrlochmessungen)****D4.4 Geol. Kartierung****D4.5 Bohrungen****D4.6 Feldmessungen - Geohydraulik****D4.7 Feldmessungen - Geochemie****D4.8 Feldmessungen - Geomechanik****D4.9 Labor****D4.10 Untertage Geophysik****D4.11 Untertage geol. Kartierung**

D4.12 Untertage Bohrungen**D4.13 Untertage In-situ-Messungen****D4.14 Untertage Labor****Literatur**

- BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ (1990): Plan Endlager für radioaktive Abfälle, Kurzfassung, Schacht-anlage Konrad, Salzgitter; Stand: 09/1986 in der Fassung von 1990.
- BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ (1992): Schachtanlage Konrad - vom Erzbergwerk zum Endlager für radioaktive Abfälle; Informationsbroschüre des BfS, Stand: 10/1992 (4. Auflage).
- ALHEID, H. J. (1986): Seismische Lastannahmen für unter Tage. Ableitung der Bewegungsgrößen für unter Tage. BGR-Archiv-Nr. 99 586, Hannover.
- DIEKMANN, N., HEUSERMANN, S., MEISTER, D. & SCHNIER, H. (1991): Geotechnical measurements during excavation of parallel drifts in a planned repository for low-level radioactive waste. Field measurements in Geomechanics, Vol. 2, S. 561-570, Balkema, Rotterdam.
- ECKHARDT, F.-J. & GERARDI, J. (1990): Zusammenfassende Bewertung und Interpretation mineralogischer und petrographischer Untersuchungen der Dogger-, Malm- und Kreideschichten der Schachtanlage Konrad. BGR, unveröff., Archiv-Nr. 106 809 vom 19.03.1991, Hannover.
- ECKHARDT, F.-J., MATTIAT, B. & BERNHARDT, J. (1990): Mineralogisch-petrographische Untersuchungen der Horizontalbohrungen Konrad B10 (Mittelbarrême) und B11 (Mittelalb) im Schacht Konrad 2. BGR, unveröff. Archiv-Nr. 00592532, 25 S., Hannover.
- ECKHARDT, F.-J., MATTIAT, B. & BERNHARDT, J. (1990): Mineralogisch-petrographische Untersuchungen an Gesteinsproben aus dem Bereich der Untersuchungsstrecke 343 m-Sohle (Alb) der Schachtanlage Konrad Schacht 2 - Laborbericht. BGR, unveröff., Archiv-Nr. 017942, Hannover.
- Eckhardt, F.-J., Rösch H. & Besang C. (1989): Mineralogische und geochemische Untersuchungen an Gesteinsproben der Bhg. Konrad 101 - Laborbericht zu B 4-40445- Bd.1 (Textband), Bd. 2 (Anlagenband). BGR unveröff., Archiv-Nr. 0113197, Hannover.
- FABER, P. (1985): Chemismus tiefer Grundwässer - Radionuklidbestimmung und Altersdatierung an tiefen Grundwässern aus der Tiefbohrung Konrad 101. Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München.
- GBS GEOPHYSIKALISCHE BODENUNTERSUCHUNGEN DR. SCHWERDT (1984): Abschlussbericht über reflexionsseismische Messungen, KONRAD 1984, Berichts-Nr. 84/140, inkl. Durchschallungsmessungen im Schacht Konrad I.
- GERARDI, J. (1986): Bohrung Konrad 101. Teil I: Geologischer Bericht; Teil II: Schichtenverzeichnis. BGR, unveröff. Bericht, Archiv-Nr. 0099599, Hannover.
- GERARDI, J. (1988a): Schachtanlage Konrad. Bericht über die Untertägige Erkundung. Teil I Geologischer Bericht. BGR, unveröff. Bericht, 52 S., Archiv-Nr. 0100586, Hannover.
- GERARDI, J. (1988b). Revision von Tiefbohrungen. BGR, unveröff. Bericht, 9 Bd., Archiv-Nr. 100547/1-9, Hannover.
- GERARDI, J., MEISTER, D., SCHNIER, H. & STÜHRENBERG, D. (1995): Control and monitoring of the deformation behavior of jointed rock mass surrounding the planned Konrad nuclear waste repository in the FRG. In Rossmann (ed.). Mechanics of Jointed and Faulted Rock, Balkema Rotterdam, 899-904.
- JARITZ, W., BEST, G., HILDEBRAND, G. & JÜRGENS, U. (1991): Regionale Analyse der seismischen Geschwindigkeiten in Norddeutschland. Geolog. Jahrbuch, Reihe E Geophysik, 45, S. 23-57.

- JARITZ, W. (1985): Geologische Auswertung reflexionsseismischer Messungen in der Umgebung der Schachanlage Konrad, Salzgitter. BGR, unveröff. Bericht, Archiv.-Nr. 0098159, Hannover.
- JARITZ, W. (1989): Auswertung reflexionsseismischer Messungen im Gebiet zwischen Salzgitter und Gifhorn - Ergänzungsarbeiten 1988. BGR, unveröff. Bericht, Archiv.-Nr. 0104572, Hannover.
- KLINGE, H. & NEUMANN-REDLIN, C. (1986): Hydraulische Tests in den Sedimentgesteinen der Kreide und des Jura der Schachanlage Konrad (Salzgitter). Z. dt. Geol. Gesellschaft, Heft 137, S. 157-166, Hannover.
- KOPIETZ, J. & JUNG, R. (1986): Temperaturmessungen in der Bohrung Konrad 101 (Bericht zum BMFT-Forschungsvorhaben KWA 53090), BGR, Hannover.
- MATTIAT, B. & KREIMEYER, R. (1991): Mineralogisch-petrographische Untersuchungen an Gesteinsproben aus dem Bereich der Untersuchungsstrecke 541 m-Sohle (Barrême) der Schachanlage Konrad Schacht 2. Laborbericht. BGR, unveröff., Archiv-Nr. 0108659, Hannover.
- MÜLLER, K. (1986): Abschlussbericht zu TA 22 19.25 Probenuntersuchung Tiefbohrung K 101 erstellt vom Institut für Geologie und Paläontologie. Abteilung für Erdölgeologie der Technischen Universität Clausthal.
- MÜLLER, K., KREUTZ, H., ZIEGENMEYER, H. & MEIER, G. (1986): Abschlussbericht zu TA 2219.26 Probenuntersuchung Tiefbohrung Konrad 101 (Ermittlung von Gesteinsparametern an Bohrkernen der Bohrung K 101). Inst. Geol. u. Paläont. Abt. für Erdölgeologie - TU Clausthal, unveröff. Bericht, 179 S., Clausthal-Zellerfeld.
- MÜLLER, K., FOLLE, S. & KREUTZ, H. (1985): Ermittlung von Gesteinsparametern im Rahmen des WBK-Gutachtens über Schacht Konrad I und II (TA 2321.05 im PSP Konrad). Inst. Geol. u. Paläont. Abt. für Erdölgeologie - TU Clausthal, unveröff. Bericht, 202 S., Clausthal-Zellerfeld.
- RÖSCH, H. (1985): Tiefbohrung K 101. Laborbericht. BGR, unveröff., Archiv-Nr. 00721638, 29 S., Hannover.
- SCHNIER, H. (1986a): Ergebnisse der festigkeitsmechanischen Laboruntersuchungen an Proben aus den Schachtwiderlagerbohrungen im Schacht Konrad 2. BGR - Archiv Nr. 99 467/II vom 14.7.1986, Sachbearbeiter
- SCHNIER, H. (1986b): Ergebnisse der festigkeitsmechanischen Laboruntersuchungen an Gesteinsproben aus dem Hangend- und Liegendbereich der Grube Konrad. Laborbericht: Ref. B 2.14 – 2. Laborbericht Konrad.- BGR, unveröff., Archiv-Nr. 99467 I, Hannover.
- SCHNIER, H. (1987): Ergebnisse der festigkeitsmechanischen Laboruntersuchungen an Gesteinsproben aus den Schachtwiderlagerbohrungen im Schacht Konrad 1. BGR - Archiv-Nr. 99 467/IV, Hannover.
- SCHULZE, O. (1986): Untersuchungen zu Festigkeit und Verformbarkeit von Tonmergel- und Tonstein-Prüfkörpern aus der Bohrung Konrad 101 - Ergebnis von Dauerstandversuchen. Laborbericht BGR, unveröff., Archiv-Nr. 0098650, 15 S., Hannover.
- WITTKE, W. (1989): Schachanlage Konrad - Ergebnisse der Vorversuche zur Simulation der Selbstabdichtung der vorhandenen Altbohrungen. Institut für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und Verkehrswasserbau der RWTH Aachen, unveröff. Bericht, Aachen.
- GRADSTEIN, F. M. et al. (1999): On the Cretaceous time scale.- Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen, ISSN: 0077-7749, Heft 212 1/3, p. 3-14
- HOMM, K. & WEHNER, H. (2003): Organische Geochemie, organische Petrographie und thermische Versuche an Tonsteinen aus der Bohrung Uthmöden 1/60.- BGR, unveröff. Bericht, Hannover.

TITTEL, G., HOLLMANN, A., STIER-FRIEDLAND, G. & WARNECKE, E. (1986): Ableitung von Sorptionsdaten aus experimentellen Untersuchungen - Schachtanlage Konrad. Interner Arbeitsbericht PTB-SE-IB-7, Physikalisch - Technische Bundesanstalt, Braunschweig, November 1986.

WAGNER, W. (1988): Hydraulische Kennwerte im Gebiet der Grube Konrad.- BGR, unveröff. Bericht, Archiv-Nr. 103690, Hannover.

Weitere Informationen zur Hydraulik und Hydrochemie (nicht ausgewertet):

http://www.bgr.bund.de/cln_011/nn_324878/DE/Themen/Wasser/Projekte/Berat_Info/Konrad/konrad_fb.html

KLINGE, H., VOGEL, P. & SCHELKES, K. (1992): Chemical composition and origin of saline formation waters from the Konrad Mine, Germany. - In: Kharaka, Y. K.; Maest, A. S. (Eds.): Water-Rock Interaction (Proceedings of the 7th International Symposium on Water-Rock Interaction, Park City, Utah, USA, 13-18 July 1992), Balkema, Rotterdam, pp 1117-1120.

SCHELKES, K., KLINGE, H., VOGEL, P. & WOLLRATH, J. (1998): Aspects of the Use and Importance of Hydrochemical Data for Groundwater Flow Modelling at Radioactive Waste Disposal Sites in Germany. - In: Use of Hydrogeochemical Information in Testing Groundwater Flow Models, Proc. NEA/SEDE Workshop, Borgholm, September 1-3, 1997, OECD, pp. 151-162.

SCHELKES, K., VOGEL, P., KLINGE, H. & KNOOP, R. M. (1990): Modelling of variable-density groundwater flow with respect to planned radioactive waste disposal sites in West Germany - Validation activities and first results. - In: Proceedings GEOVAL-1990, Symposium on Validation of Geosphere Flow and Transport Models, 14-17 May 1990, Stockholm, pp 328-335, OECD 1991.

VOGEL, P., SCHELKES, K., KLINGE, H. & GEISLER, N. (1990): Analysis of density-dependent deep groundwater movement in Northern Germany influenced by high salinity. - In: ModelCARE 90, International Conference on Calibration and Reliability in Groundwater Modelling, 3-6 September 1990, The Hague, Netherlands, Volume of Poster Papers, pp 373-382.

Konrad	Erkundungs- methoden:	Fernerkundung	Geophysik (übertägig)	Geophysik (im Bohrloch)	Geol. Kartierung	Bohrungen	Feldmessungen - Geohydraulik	Feldmessungen - Geochemie	Feldmessungen - Geomechanik	Labor	Geophysik	geologische Kartierung	Bohrungen	In-situ- Messungen	Labor
	1-9 übertägig 10-14 untertägig														
Inhalte der Themenkomplexe	Bezeichnungen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Regionale Geologie (20 km*20 km)															
Wirtsgestein / Rahmengestein (Geometrie, Materialwechsel)	A1														
Stratigraphie	A2														
Strukturgeologie und Tektonik (Störungsmuster, Faltung)	A3														
Regionales Spannungsfeld	A4														
Temperatur und Wärmeleitfähigkeit	A5														
Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z.B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)	A6														
Rohstoffvorkommen	A7														
Eigenschaften des Wirtsgesteins und der Rahmengesteine am Standort															
Lithologie	B1														
Geometrie (Tiefenlage, Ausdehnung)	B2														
Makro-Struktur (Großgefüge: Störungen / Faltungen / Deformationen / Klüfte)	B3														
Mikro-Struktur (Korngefüge / Porenstruktur)	B4														
In-situ-Spannungsverhältnisse	B5														
Mineralogie	B6														
Petrophysikalische Eigenschaften (Probenmaßstab):															
Gesteinsmechanik (z.B. Festigkeit, Kriechen)	B7a														
Hydraulik (z.B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)	B7b														
Diffusion	B7c														
Thermik	B7d														
THMC-Kopplung	B7e														
Chemismus (z.B. Oxidation, Adsorption)	B7f														
Hydrogeologie des Wirts- und Rahmengesteins (Feldmaßstab)															
Hydraulisch wirksame Einheiten	C1														
Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein	C2														
Fließ- und Speicherparameter	C3														
Zwei-Phasenfluss-Parameter	C4														
Hydrochemie															
Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)	D1														
Porenwasserchemismus	D2														
Transporteigenschaften	D3														
Kolloide usw.	D4														
Erkundungsaktivität															

Anhang 18

Inhalte der Themenkomplexe

Inhalte der Themenkomplexe	Bezeichnung
Regionale Geologie (20 km*20 km)	
Wirtsgestein / Rahmengestein (Geometrie, Materialswechsel)	A1
Stratigraphie	A2
Strukturgeologie und Tektonik (Störungsmuster, Faltung)	A3
Regionales Spannungsfeld	A4
Temperatur und Wärmeleitfähigkeit	A5
Geodynamik / Entwicklungsgeschichte (z.B. Eiszeitauflast, Erosion, Seismizität)	A6
Rohstoffvorkommen	A7
Eigenschaften des Wirtsgesteins und der Rahmengesteine am Standort	
Lithologie	B1
Geometrie (Tiefenlage, Ausdehnung)	B2
Makro-Struktur (Großgefüge: Störungen / Faltungen / Deformationen / Klüfte)	B3
Mikro-Struktur (Korngefüge / Porenstruktur)	B4
In-situ-Spannungsverhältnisse	B5
Mineralogie	B6
Petrophysikalische Eigenschaften (Probenmaßstab):	
Gesteinsmechanik (z.B. Festigkeit, Kriechen)	B7a
Hydraulisch (z.B. Permeabilität, Porosität, Sättigung)	B7b
Diffusion	B7c
Thermisch	B7d
THMC-Kopplung	B7e
Chemische Eigenschaften (z.B. Oxidation, Adsorption)	B7f
Hydraulisch wirksame Einheiten	C1
Porenwasserdrücke im Wirts- und Rahmengestein	C2
Fließ- und Speicherparameter	C3
Zwei-Phasenfluss-Parameter	C4
Hydrochemie	
Wasseralter (isotopengeochemische Charakterisierung)	D1
Porenwasserchemismus	D2
Transporteigenschaften	D3
Kolloide usw.	D4

| Verantwortung für Mensch und Umwelt |

Kontakt:

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 10 01 49

38201 Salzgitter

Telefon: + 49 30 18333 - 0

Telefax: + 49 30 18333 - 1885

Internet: www.bfs.de

E-Mail: ePost@bfs.de

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.



Bundesamt für Strahlenschutz