

# **Strategische Optionen im Hinblick auf auslegungsüber- schreitende Ereignisse in der Schachtanlage Asse II**

**Stand 10.11.09**

**Fachbereich  
Sicherheit nuklearer Entsorgung**



Bundesamt für Strahlenschutz

# KURZFASSUNG

**Titel:** Strategische Optionen im Hinblick auf auslegungsüberschreitende Ereignisse in der Schachanlage Asse II

**Stand:** 10.11.09

**Stichworte:** Schachanlage Asse II, Störfallanalyse, auslegungsüberschreitende Ereignisse, Lösungszutritt, Vorsorgemaßnahmen

Im Rahmen der Sicherheitsüberprüfung der Störfallvorsorge für die Schachanlage Asse II wurde festgestellt, dass infolge auslegungsüberschreitender Zutrittsraten der Deckgebirgslösungen radiologische Auswirkungen in der Umgebung der Schachanlage Asse auftreten können (ISTec 2009a). Aus der Abschätzung der potentiellen radiologischen Konsequenzen wird deutlich, dass die radiologischen Schutzziele beim auslegungsüberschreitenden Zutritt von Deckgebirgslösung ohne geeignete Stilllegungsmaßnahmen nicht eingehalten werden können (GRS (2009)).

Im vorliegenden Bericht wurde geprüft, ob und in welchem Umfang grundsätzlich Möglichkeiten bestehen, Einfluss auf die Eintrittswahrscheinlichkeit oder die Konsequenzen eines auslegungsüberschreitenden Lösungszutritts in die Schachanlage Asse II während des Offenhaltungsbetriebes zu nehmen.

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>KURZFASSUNG</b> .....	<b>2</b>
<b>INHALTSVERZEICHNIS</b> .....	<b>3</b>
<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>4</b>
<b>1 GRUNDLAGEN UND VERANLASSUNG</b> .....	<b>5</b>
1.1 GRUNDLAGEN .....	5
1.2 ERKENNTNISSE UND VERANLASSUNG .....	5
<b>2 ZIELSTELLUNG UND METHODISCHER ANSATZ</b> .....	<b>6</b>
<b>3 AUSLEGUNG DER SCHACHTANLAGE ASSE II</b> .....	<b>7</b>
<b>4 MÖGLICHE MAßNAHMEN</b> .....	<b>9</b>
4.1 ZEITLICHE RANDBEDINGUNGEN .....	9
4.2 MAßNAHMEN ZUR BEEINFLUSSUNG DER EINTRITTSWAHRSCHEINLICHKEIT .....	11
4.3 MAßNAHMEN ZUR MINIMIERUNG DER RADIOLOGISCHEN KONSEQUENZEN .....	12
<b>LITERATUR</b> .....	<b>14</b>

Gesamtseitenzahl: 15

# ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

<b>ABergV</b>	Bergverordnung für alle bergbaulichen Bereiche (Allgemeine Bundesbergverordnung)
<b>AtG</b>	Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz)
<b>AGO</b>	Arbeitsgruppe Optionenvergleich
<b>AÜE</b>	auslegungsüberschreitendes Ereignis
<b>BBergG</b>	Bundesberggesetz
<b>Bfs</b>	Bundesamt für Strahlenschutz
<b>BMI</b>	Bundesministerium des Innern
<b>BMU</b>	Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
<b>StrISchV</b>	Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung)
<b>HMGU</b>	Helmholtz Zentrum München - Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH)

# 1 GRUNDLAGEN UND VERANLASSUNG

## 1.1 GRUNDLAGEN

Gemäß § 57b AtG gelten für den Betrieb und die Stilllegung der Schachanlage Asse II die für die Anlagen des Bundes nach § 9a Abs. 3 geltenden Vorschriften. Damit ist auch für die Schachanlage Asse II gemäß § 9b Abs. 4 AtG i. V. m. § 7 Abs. 2 Nr. 3 AtG nachzuweisen, dass die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden getroffen ist. Entsprechend dem geltenden Regelwerk (u.a. BMI 1983a, StrlSchV, analoge Anwendung der Sicherheitsanforderungen des BMU, (BMU 2009)) sind eine Sicherheitsanalyse des bestimmungsgemäßen Betriebs und eine Störfallanalyse als eine der zu erfüllenden Voraussetzungen für den Nachweis der Einhaltung der grundsätzlichen Schutzziele durchzuführen.

Die Sicherheitsanalyse erstreckt sich dabei auf den normalen Betrieb sowie auf anomale Betriebszustände (bestimmungsgemäßer Betrieb), während die Störfallanalyse nach § 3 Abs. 2 Nr. 28 StrlSchV Zustände abdeckt, bei deren Eintreten der Betrieb der Anlage oder die Tätigkeit aus sicherheitstechnischen Gründen nicht fortgeführt werden kann und gegen die entsprechende Vorsorge zu treffen ist.

Die für die Schachanlage Asse II durchgeführte Sicherheitsüberprüfung der Störfallvorsorge (ISTec 2009a) definiert Störfälle als diejenigen Ereignisabläufe, die aufgrund potenzieller Freisetzung radioaktiver Stoffe am Störfallort relevant sind und die nicht als anomale Zustände in der Sicherheitsanalyse des bestimmungsgemäßen Betriebes (ISTec 2009b) betrachtet werden. Dazu zählen Ereignisabläufe infolge anlageninterner Einwirkungen und Ereignisabläufe infolge naturbedingter und sonstiger Einwirkungen von außen sowie Kritikalitätsereignisse. Die identifizierten Ereignisabläufe werden als potenzielle Störfälle bezeichnet, unabhängig vom Ergebnis der Betrachtung, ob eine Freisetzung radioaktiver Stoffe am Störfallort oder in die Umgebung der Anlage ggf. vermieden wird oder so gering ist, dass das Ereignis kein Störfall i. S. des § 3 Abs. 2 Nr. 28 StrlSchV ist. Durch diese systematische Vorgehensweise wird sichergestellt, dass alle unerwünschten Ereignisse erfasst und die erforderlichen Vorsorgemaßnahmen getroffen werden.

Zum sicheren Betrieb einer kerntechnischen Anlage gehört es demnach, dass Vorkehrungen getroffen werden, die das Eintreten von Ereignissen, bei denen weder ein Weiterbetrieb möglich ist, noch eine geordnete Stilllegung durchgeführt werden kann, verhindern oder – wenn dies nicht möglich ist – die Auswirkungen solcher Ereignisse verringern.

## 1.2 ERKENNTNISSE UND VERANLASSUNG

Mindestens seit 1988 besteht in der Schachanlage Asse II ein Zutritt von Grundwässern aus dem Deck- bzw. Nebengebirge. Die Zutrittsrate ist in der Vergangenheit ausweislich der vorliegenden Daten (Asse GmbH 2009a) angestiegen. Dieser Integritätsverlust ist in Folge starker Verformungen wegen eines nicht ausreichend dimensionierten Tragsystems bei gleichzeitig unzureichender Schutzschichtmächtigkeiten zum wasserführenden Nebengebirge eingetreten.

Ausweislich der gebirgsmechanischen Zustandsanalyse und Prognose (IFG 2009) sowie der Standortdaten dauern die bestehenden Verformungen des Tragsystems an und werden weiterhin Auswirkungen auf die Salzbarriere und das benachbarte Deckgebirge haben. Am unteren Rand des Baufeldes der Südflanke ist laut IFG. (2009): „... zu besorgen, dass sich Mikrorisse in der Steinsalzbarriere in Richtung der 700-m-Sohle zu Makrorissen vereinigen und zu hydraulischen Konsequenzen (Anschluss des hydraulisch leitfähigen Muschelkalks über die Störung S2a) führen.“

Der Zusammenhang zwischen Verformungen und Lösungszutritt ist nicht streng korreliert. „Eine eindeutige Korrelation zwischen Verformungszustand des Gebirges und dem Laugenzutritt kann .. aufgrund der

*komplexen Gebirgsverhältnisse und des nicht eindeutig definierbaren Laugenzutritts in das Salzgebirge nicht angegeben werden.“ (CDM 2008, AGO 2008a)*

Auch geringe weitere Verformungen können somit bereits zu Veränderungen des Fließsystems führen und den Lösungszutritt verstärken. Welche Verformungen das System Deckgebirge/Salinar bis zu einer Veränderung des Fließsystems und damit der Zutrittsmenge noch ertragen kann, ist folglich nicht bekannt. *„Jedoch ist der Zeitpunkt dieses möglichen Wassereinbruchs nicht prognostizierbar. Es sollte aber davon ausgegangen werden, dass diese Gefahr mit fortschreitender Verformung des Nebengebirges im Zeitverlauf anwächst.“ (AGO 2009:S22).*

Nach BfS (2009b) kann auch eine verlässliche Prognose für die Menge und Rate der zutretenden Grundwässer aus dem Deck- und Nebengebirge nicht vorgenommen werden.

Damit ist der Zutritt, auch größerer Grundwassermengen zu einem nicht näher bestimmten Zeitpunkt, also auch derzeit, zur Einhaltung der nach AtG erforderlichen Schadensvorsorge zu unterstellen.

In der Sicherheitsüberprüfung der Störfallvorsorge der Schachanlage Asse II (ISTec 2009a) wird abschließend festgestellt, dass bei auslegungsüberschreitenden Zutrittsraten der Deckgebirgslösungen Konsequenzen in der Biosphäre zu besorgen sind. Die radiologischen Konsequenzen werden in GRS (2009) untersucht. In dieser Abschätzung der potenziellen Strahlenexpositionen in der Umgebung der Schachanlage Asse II wird festgestellt, dass das Gesamtmaximum der potenziellen Strahlenexpositionen in allen gerechneten Varianten Werte von mehr als 10 mSv/a erreicht.

Es wird geschlussfolgert, dass *„...die radiologischen Schutzziele beim auslegungsüberschreitenden Zutritt von Deckgebirgslösung ohne geeignete Stilllegungsmaßnahmen nicht eingehalten werden können...“*

Damit ist es erforderlich zu prüfen, ob und in welchem Umfang Möglichkeiten bestehen, Einfluss auf die Eintrittswahrscheinlichkeit und/oder die radiologischen Konsequenzen eines auslegungsüberschreitenden Lösungszutritts in die Schachanlage Asse II während des Offenhaltungsbetriebes zu nehmen

## **2 ZIELSTELLUNG UND METHODISCHER ANSATZ**

Ziel dieser Unterlage ist es, die Vorgehensweise des BfS im Hinblick auf das auslegungsüberschreitende Ereignis (AÜE) eines Lösungszutritts in die Schachanlage Asse II darzulegen. Dieser Bericht erhebt dabei nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Er wurde zur Darstellung der grundsätzlichen strategischen Optionen erstellt. Technische Planungen sind nicht Gegenstand dieser Unterlage.

Das BfS ist seit dem 01.01.2009 Betreiber der Schachanlage Asse II und hat diese ohne eine entsprechende Notfallplanung übernommen. Bereits in BfS (2007) hat das BfS auf das Fehlen einer systematischen Störfallanalyse hingewiesen. Der im Sommer 2008 vom bisherigen Betreiber HMGU vorgelegte Entwurf einer Störfallanalyse wurde von der AGO in einer unter maßgeblicher Mitwirkung durch das BfS erstellten Stellungnahme als unzureichend charakterisiert (AGO 2008b). Es wird hierin als wesentliches Defizit zusammenfassend festgestellt, dass *„...im Entwurf der Störfallanalyse des HMGU der als relevant einzustufende Störfall eines Lösungszutritts aus dem Deckgebirge von mehr als 200 m<sup>3</sup>/Tag nicht betrachtet wird und für einige der betrachteten Störfälle eine Zuordnung zur Störfallklasse 2 aufgrund der im Entwurf dargestellten Vorsorgemaßnahmen nicht gerechtfertigt ist“ ...*

Der bisherige Betreiber HMGU hatte seine Vorgehensweise vollständig auf die laufenden vorgezogenen Stilllegungsarbeiten fokussiert. Weitere Vorsorgemaßnahmen waren nicht geplant worden.

Das BfS hat unverzüglich nach dem Betreiberwechsel mit der Erarbeitung und Systematisierung von Notfallplanungen begonnen. Diese Arbeiten sind noch nicht abgeschlossen.

Grundsätzlich existieren 2 Möglichkeiten, auf die vorliegende Situation (Existenz eines wahrscheinlichen auslegungsüberschreitenden Ereignisses mit radiologischen Auswirkungen in der Umgebung) Einfluss zu nehmen:

1. die Minimierung der Eintrittswahrscheinlichkeit des Szenarios
2. die Verminderung der radiologischen Auswirkungen des AUE

Ziel von 1 ist es, die Eintrittswahrscheinlichkeit durch geeignete Maßnahmen nachweislich so zu minimieren, dass der Eintritt nur noch dem Restrisiko zuzuordnen wäre. Diese Maßnahmen könnten innerhalb oder außerhalb des Grubengebäudes, entweder direkt (z. B. dauerhafte Abdichtung) oder indirekt (z. B. Minimierung der Verformungen, Verbesserung der Auslegung) erfolgen.

Ziel von 2 ist, die radiologischen Auswirkungen zu verringern. Dies kann durch technische Maßnahmen zur Begrenzung der Radionuklidfreisetzung im Falle des AUE erfolgen (z. B. Einbau von Rückhaltesystemen, Begrenzung der Mobilisierbarkeit, Rückholung von Abfällen).

Grundsätzlich besteht in erster Linie die Notwendigkeit, die Auslegung der Anlage so zu verbessern, dass ein eintretendes Ereignis nicht oder zu einem späteren Zeitpunkt auslegungsüberschreitend wird. Diese Vorsorgemaßnahmen sind Gegenstand der betrieblichen Notfallvorsorge. Sie beinhalten die im Notfallplan (ASSE GMBH 2009b) dargestellten und fortzuführenden Maßnahmen. Diese Planungen sind nicht Gegenstand dieser Unterlage.

### **3 AUSLEGUNG DER SCHACHTANLAGE ASSE II**

Wie die Auslegung der Schachanlage Asse II gegen einen Lösungszutritt ausgelegt werden kann, ist abhängig vom eintretenden Szenario. Eine generelle „Auslegung“ mit für alle Situationen gültigen und feststehenden Parametern kann derzeit nicht angegeben werden. Die Beherrschbarkeit eines verstärkten Lösungszutritts ist stark von der konkreten Situation abhängig (im Wesentlichen von: Zutrittsort, Zutrittsart, chemische Zusammensetzung, radiologische Randbedingungen). Die vorhandenen Einrichtungen und Möglichkeiten zur Lösungsfassung sind in ASSE GMBH (2009b) und DBE TEC (2009) umfassend dargestellt und erläutert.

Das System zur Beherrschung von in der Grube anfallenden Lösungen umfasst verschiedene Elemente entsprechend dem Ereignisablauf eines Lösungszutritts. Die sich aus diesem komplexen System ergebenden Parameter bestimmen die Auslegung der Schachanlage Asse II zur Beherrschung eines Lösungszutritts (der jeweils „schwächste“ Parameter bestimmt die Auslegung des Gesamtsystems).

Es handelt sich um die Tätigkeiten/Elemente:

- Auffangen/Fassen der Lösungen
- Sammeln/Zwischenspeichern der Lösungen
- Fördern innerhalb der Grube
- Speichern (Abgabe-Pufferspeicherung) in der Grube oder auf dem Gelände
- Heben der Lösung nach über Tage
- Abfahren/Transportieren
- Verwerten/Entsorgen

Grundsätzlich muss im Hinblick auf die Handhabbarkeit und damit Auslegung der Anlage mit dem Auftreten von 3 verschiedenen Lösungstypen gerechnet werden:

Lösungstyp A: freigabefähige Lösung, die auch entsprechend ihren radiologischen und chemischen Parametern den Festlegungen der Vereinbarung mit der K+S Entsorgung GmbH zur Verwertung im Bergwerk „Mariagluck“ (<100 Bq/l 3H) entspricht.

Lösungstyp B: nach einem spezifischen Freigabeverfahren freigabefähige Lösung, deren radiologische Parameter gemäß der Vereinbarung mit K+S, die jedoch oberhalb der vertraglich fixierten Maximalwerte liegen und daher im Bergwerk „Mariagluck nicht verwertet werden können,

Lösungstyp C: aufgrund ihres Radionuklidinventars nicht freigabefähige und daher auch nicht extern verwertbare Lösung (nur Entsorgung als radioaktiver Abfall).

Generell nimmt die Beherrschbarkeit, d.h. die Aufrechterhaltung eines geregelten Betriebes und somit die Auslegung der Anlage von Lösungstyp A nach C ab. Für das derzeitige System des Lösungsmanagements (Lösungstyp A, weitgehende Fassung auf der 658-m-Sohle) ist Fassung und Abgabe von bis zu ca. 82m<sup>3</sup>/d und 20.000 t<sup>3</sup>/Jahr (durchschnittlich 45 m<sup>3</sup>/Tag) sichergestellt. Die untertägigen Fördereinrichtungen können ca. 200m<sup>3</sup>/d sicher handhaben DBE TEC (2009). Strategisches Ziel muss es daher sein, durch Erhöhung der Pumpenleistung auf bis zu 500 m<sup>3</sup> pro Tag und die entsprechende Anpassung des Lösungsmanagements die Anlagenauslegung weiter zu verbessern. Diese Mengen setzen jedoch eine permanente Abgabe und Verwertung/Entsorgung voraus, da übertägige Notfallspeicher der Schachanlage Asse II für derartige Mengen nicht zur Verfügung stehen. Eine dauerhafte Abgabe zur Verwertung/Entsorgung von bis zu 500m<sup>3</sup>/d für den Fall eines erhöhten Lösungszutritts ist vertraglich abzusichern.

Bei einer Verlagerung des Lösungszutritts in Teile der Grube, die eine schnelle Fassung und damit Tritium-Minimierung nicht erlauben (z.B. in Folge eines geomechanischen Ereignisses oder eines Defekts der Abdichtung des Abbau 3/658), können die Lösungen derzeit nicht mehr abgegeben und verwertet werden (Lösung Typ B). Die derzeitige Verwertbarkeit von Zutrittslösungen ist auf wenige 10er m<sup>3</sup>/Tag und nur auf einen kurzen Zeitraum begrenzt. Bei dieser Abschätzung wird von einer Verfüllung noch zugänglicher Grubenräume mit Sorelbeton unter Verwendung dieser Lösung und unter Einsatz der mobilen Baustoffanlagen ausgegangen. Entsprechender Notfallspeicherraum ist jedoch nur begrenzt vorhanden (vgl. ASSE GMBH (2009b)). Ein über mehrere Jahre stabiler Betrieb ist so nicht darstellbar. Eine externe Abgabe wäre hier zwingend, soweit die Freigabewerte unterschritten werden.

Sofern höher kontaminierte Lösungen auftreten, die eine Freigabe zur Verwertung nicht ermöglichen, ist nur noch eine interne Lagerung und ggf. Verfestigung denkbar. Die Handhabung größerer Mengen Lösung vom Typ C ist hier weder gesichert noch vorstellbar. Es wird abgeschätzt, dass Lösungsmengen von ca. 1 m<sup>3</sup>/d dauerhaft gehandhabt werden können. Strategisches Ziel muss es daher sein, durch technische Maßnahmen die Entstehung größerer Mengen kontaminierter Lösungen zu verhindern.

Damit ergeben sich folgende Abschätzungen für die Auslegung. Für die Typen B und C sind die Werte aufgrund der aktuellen Betriebserfahrungen angenommen.

- Technische Förderbarkeit (Notfallvorsorge): derzeit ca. 200 m<sup>3</sup>/d / Ziel ca. 500 m<sup>3</sup>/d
- Lösungstyp A (Regelbetrieb): ca. 82 m<sup>3</sup>/d und 20.000 t/a
- Lösungstyp B: wenige 10er m<sup>3</sup>/d
- Lösungstyp C: ca. 1 m<sup>3</sup>/d

Es ist zu beachten, dass bei einem verstärkten Zutritt oder bereits bei einer Verlagerung bestehender Zutritte in Bereiche mit erschwerten Fassungsbedingungen (nicht zugängliche Abbaue) jederzeit aus einer bei Lösungstyp A beherrschten Situation beim Auftreten von Lösungen des Typs B oder C eine Überschreitung der Auslegungsparameter entstehen kann. Dies ist im Rahmen der Notfallplanungen nach Möglichkeit zu verhindern.

## 4 MÖGLICHE MAßNAHMEN

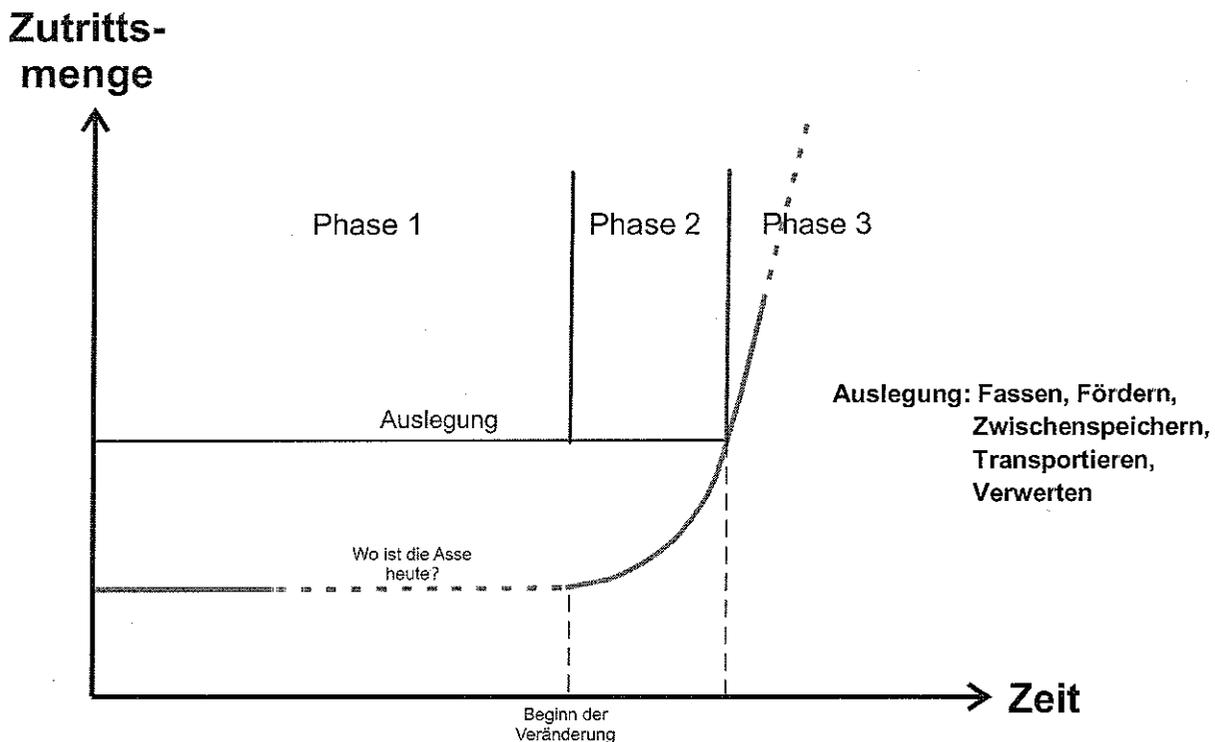
In diesem Kapitel wird kurz auf die grundsätzlichen Möglichkeiten zur Beeinflussung des Risikos und der Konsequenzen des Notfalls eines nicht mehr beherrschbaren Lösungszutritts eingegangen. Technische Planungen werden nicht dargestellt. Zu Beginn wird erläutert unter welchen zeitlichen Randbedingungen Maßnahmen möglich bzw. erforderlich sind.

### 4.1 ZEITLICHE RANDBEDINGUNGEN

Im Hinblick auf das Risiko eines technisch nicht beherrschbaren Lösungszutritts findet ein ständiger Sicherheitsverzehr statt. Nach einhelliger Expertenmeinung steigt das Risiko eines neuen Grundwasserzutritts oder einer ansteigenden Rate des Grundwasserzutritts mit zunehmenden Verformungen (CDM 2008, AGO 2008a). Ob und in welchem Umfang Lösungsprozesse zu einer Veränderung beitragen können, ist derzeit nicht bekannt.

Aus dem Salzbergbau ist ausweislich der Erfahrungen mit einer Vielzahl, aufgrund unzureichender Dimensionierung und Schutzschichtmächtigkeiten, abgesoffener Kali- und Steinsalzgruben bekannt, dass die Ersaufensszenarien häufig progressiv verlaufen. Das bedeutet, dass nach einer zum Teil über Jahrzehnte andauernden zuflussfreien Phase oder Phase mit stabilen Zuflüssen häufig dynamische Prozesse einsetzen, in deren Folge die Zuflüsse über Monate bis Wochen ein technisch unbeherrschbares Maß annehmen. Das konkrete Ersaufensszenario hängt dabei von den standortspezifischen Verhältnissen ab und ist für die Schachanlage Asse II nicht prognostizierbar (BfS 2009b).

Abbildung 1: möglicher Ablauf eines worst case Szenarios (schematisch)



Für die Schachanlage Asse II ist als weiterer dynamisierender Faktor der Einfluss der Durchfeuchtung auf die ohnehin ausgeschöpften Tragreserven des Systems zu berücksichtigen. IFG (2009) weist darauf hin, dass die vorgenommenen Verformungsprognosen unter dem Vorbehalt stehen, dass sich die System- und Randbedingungen nicht ändern. „Die größten Besorgnisse beziehen sich dabei (Anm.: hinsichtlich der Änderung der Randbedingungen) auf die nicht auszuschließende Zunahme der Deckgebirgslösungszutritte bei Anschluss von hydraulisch leitfähigeren Gebirgsschichten als bisher, der Ausbildung von weiteren

*Zutrittsorten und der Abnahme der bisherigen Sättigung an Steinsalz. Bei einer solchen Entwicklung gilt die vorgelegte Prognose der Resttragfähigkeit nicht mehr.“*

Bei einer Veränderung des Grundwasserzutritts in seinen wesentlichen Parametern (Menge, Dichte, Chemismus) ist weder prognostizierbar, ob es sich um eine zeitweise oder dauerhafte handelt, noch ist erkennbar, ob die Veränderung den Beginn einer progressiven Veränderung darstellt oder ein nachfolgendes zeitweise stabiles Niveau eingenommen wird.

Daher ist die Abgrenzung von Interventionsschwellen an Hand geologischer, geomechanischer oder chemischer Kriterien nicht sinnvoll im Vorhinein begründet möglich. Interventionsschwellen können, sofern überhaupt sinnvoll abgrenzbar, nur an Hand technischer Auslegungsparameter festgelegt werden. Die dabei bestehenden Schwierigkeiten sind in Kapitel 3 erläutert.

Mögliche Maßnahmen, die auf die Eintrittswahrscheinlichkeit oder Konsequenzen eines technisch nicht beherrschbaren Lösungszutritts Einfluss nehmen können, benötigen unterschiedliche Zeiträume für Ihre Planung und Realisierung. Damit ergeben sich in zeitlicher Hinsicht folgende Phasen (vgl. Abbildung 1) für Notfallmaßnahmen, in die die in Kapitel 2 genannten grundsätzlichen Möglichkeiten einzuordnen sind.

#### Phase 1 Vorsorgliche Maßnahmen zur Verhinderung, dass es zu einem Notfall kommt.

Es ist in erster Linie zu verhindern, dass der Notfall eines unbeherrschbaren Lösungszutritts eintritt. Dazu können im Wesentlichen Maßnahmen dienen, welche die Verformungsraten des Gebirges verringern (Firstspaltverfüllung) oder den Zutritt abdichten (z.B. Gefrierverfahren, Injektion von außen).

Des Weiteren dienen alle Maßnahmen der Verbesserung der Auslegung (zusätzliche Speicher, Leitungen usw.) diesem Ziel.

Auch Maßnahmen, die einer Minimierung der Konsequenzen (Fernhalten der Lösungen von Einlagerungskammern, Verlegen von Rohrleitungen) dienen sind hier zu nennen. Ziel ist es, nur solche Maßnahmen vorsorglich umzusetzen, welche die derzeit in Prüfung befindlichen Stilllegungsoptionen nicht präjudizieren.

#### Phase 2 Maßnahmen bei erhöhtem Anstieg des Grundwasserzutritts

Sobald Veränderungen des Lösungszutritts eintreten bzw ein vorher definiertes Maß überschreiten, müssen Maßnahmen ergriffen werden, die zur Vorbereitung eines schnellen Verschlusses der Anlage dienen. Dazu zählt z.B. die Vorbereitung der Verfüllung von noch offenen Grubenhohlräumen und zur Aufgabe der Grube. Auf die Problematik der Festlegung von Interventionsschwellen wurde bereits hingewiesen

#### Phase 3 Maßnahmen beim Eintritt des "Worst Case"

Sofern die Auslegung der Anlage erreicht wird oder zu erreichen droht, das heißt nicht mehr alle Lösungen verwertet oder abgegeben werden können, können nur noch Notmassnahmen zur schnellen Aufgabe der Grube durchgeführt werden. Die Grube kann dann nur noch von allen kurzfristig erreichbaren Gefahrstoffen geräumt (Kraftstoffe, Schmiermittel, u.ä.) werden. Die Schachtverschlüsse werden vorbereitet (Rückbau der Schachteinbauten) und sofern noch möglich errichtet. Um unkontrollierte Lösungsprozesse zu verhindern bzw. mindestens zu minimieren ist eine Einleitung von einem mit dem Salzgestein weitgehend im Gleichgewicht stehenden Fluid ( $MgCl_2$  – Lösungen) (sog „Gegenflutung“) vorzubereiten, aber nur im Notfall auch umzusetzen. Es muss eine langfristige Überwachung der Umgebung (Grundwasser) erfolgen. Die Feststellung, dass dieser Notfall eingetreten ist, kann nur vom Betreiber und den Aufsichts- und Genehmigungsbehörden getroffen werden und ist in der Öffentlichkeit zu kommunizieren.

## 4.2 MAßNAHMEN ZUR BEEINFLUSSUNG DER EINTRITTSWAHRSCHEINLICHKEIT

Um die Eintrittswahrscheinlichkeit des Szenarios eines auslegungüberschreitenden Lösungszuflusses zu beeinflussen, ist die Einflussnahme auf die maßgeblichen Wirkfaktoren erforderlich. Diese sind im Wesentlichen die Permeabilität im Deckgebirge und in der salinaren Schutzschicht, die hydraulischen Gradienten und das Wasserdargebot. Aufgrund der unzureichenden Datenlage ist das Fließsystem und die Lage der hydraulischen Drossel nicht bekannt (BfS 2009b).

Indirekten, nicht quantifizierbaren, aber vermutlich wesentlichen Einfluss auf die hydraulische Drosselung des Systems nimmt die Verformung der Hangendschichten und der salinaren Schutzschicht. Gelingt es, diese nachhaltig zu reduzieren, ist auch von einer Reduzierung der Zunahme des Zuflussrisikos auszugehen.

Das BfS hat die Möglichkeiten der direkten Einflussnahme auf die o.a. Wirkfaktoren geprüft. Theoretisch könnte z. B. das Wasserdargebot bzw. die Grundwasserneubildung beeinflusst werden (Flächenversiegelung, Grundwasserabsenkung o.ä.). Auch die Beeinflussung der Permeabilität der durchströmten Gesteine, z. B. durch gezielte Mineralsynthese, ist denkbar. Das BfS hat dazu am 29.05.2009 einen Workshop durchgeführt, der keine kurzfristig realisierbaren Lösungen aufzeigte (BfS 2009a).

Es werden als Ergebnis dieses Workshops weitere Untersuchungen z.B. zur Aufklärung der hydrogeologischen und Lagerungsverhältnisse (Seismik, Bohrungen) durchgeführt.

Bis zum Vorliegen konkreter Ergebnisse oder unter den spezifischen Bedingungen der Asse anwendungsreifer und –sicherer Maßnahmen werden Zeiträume benötigt, die eine Beeinflussung des Lösungszutritts in den nächsten ein bis 2 Jahren nicht erlauben.

Es verbleibt als einfacher zu realisierende Möglichkeit der Beeinflussung der Eintrittswahrscheinlichkeit die Möglichkeit der Reduzierung der Verformung der Hangendschichten und der salinaren Schutzschicht. Eine der Möglichkeiten ist die weitgehende Minimierung der noch verbleibenden konvergenzaktiven Hohlräume. Als eine diesem Ziel dienende Maßnahme werden die in den Abbauen der Südflanke verbleibenden Firstspalten mit sofort tragfähigem Sorelbeton verfüllt. Eine zügige Verfüllung aller in Frage kommenden Resthohlräume in den Abbauen der Südflanke an den Stößen und unter den Firsten wird von CDM (2008) und IFG (2009) dringend empfohlen. Von IfG werden folgende Argumente genannt (IFG 2009):

- Grundsätzlich führt eine Verringerung konvergenzaktiver Volumina zu einem schnelleren Versatzdruckaufbau und damit einer besseren Stützung der Pfeiler und Schweben. Bei abnehmenden Konvergenzraten wird der Zuwachs der von der Verformung abhängigen Schädigung der Tragelemente geringer.
- Ein stetig wachsender Versatzdruckaufbau bildet die Voraussetzung für die Aufrechterhaltung der Resttragfähigkeit im Pfeiler-Schweben-System, welches sich im Nachbruchzustand befindet.
- Die hydraulische Strömung der Lösung aus dem Deckgebirge in Richtung der Südflanke wird durch die Entlastungswirkung der Hohlräume verursacht. Dieses Druckgefälle kann durch eine möglichst dichte Verfüllung der Resthohlräume verringert werden, wenn sich durch das auflaufende Gebirge ein Stützdruck aufbaut. Weiterhin könnte der erhöhte Stützdruck die hydraulische Durchlässigkeit in den Rissystemen der Abbaukonturen verringern.

Auch die Arbeitsgruppe Optionenvergleich beurteilt die geplante Firstspaltverfüllung als uneingeschränkt positiv und empfiehlt ihre unverzügliche Umsetzung (AGO 2009): „Die AGO plädiert deshalb für die unverzügliche Aufnahme konkreter Planungen zur Realisierung einer qualifizierten Firstspaltverfüllung nach dem von CDM entwickelten Grundkonzept. Die AGO teilt die Meinung, dass der durch die Firstspaltverfüllung erreichbare kraftschlüssige Verbund zwischen Versatz und Kammerwandungen zu einer deutlichen Reduzierung der Verformungsraten führen wird. Nachteilige Auswirkungen der

*Firstspaltverfüllung auf ein zu realisierendes Stilllegungskonzept und den Nachweis der Langzeitsicherheit werden von der AGO nicht gesehen“.*

Eine weitere Möglichkeit der Reduzierung der Verformungen ergibt sich aus der von CDM (2008) vorgeschlagenen Versatzinjektion. Die dafür erforderliche Injektionstechnik wurde unter den hier gegebenen Randbedingungen mit dem außergewöhnlichen Material und für den vorgesehenen Zweck in dieser Kombination jedoch noch nicht ausgeführt wurde (CDM 2008). Ob eine Versatzinjektion technisch machbar ist und ob sich hierdurch wesentliche Verbesserungen bei der Stabilität erzielen lassen, kann erst nach Durchführung eines Versuchs bewertet werden. Der Zeitbedarf für die Konzept-, Entwurfs- und Ausführungsplanung unter den Randbedingungen einer kerntechnischen Anlage lässt zeitnahe und hinreichende Effekte als wenig belastbar erscheinen.

### **4.3 MAßNAHMEN ZUR MINIMIERUNG DER RADIOLOGISCHEN KONSEQUENZEN**

Die radiologischen Konsequenzen eines bereits eingetretenen Ereignisses hängen von den maßgeblichen Parametern des sich einstellenden Systems ab. Dabei gibt es zwei wesentliche Modellkompartimente, deren Parameter die radiologischen Konsequenzen maßgeblich bestimmen.

Während im Deckgebirge Parameter wie z. B. die Transportzeiten (Fließwege), die Sorption und Verdünnung wesentlich sind, bestimmen im Modellkompartiment „Grube“ mehr und z.T. andere Parameter die Konsequenzen einer möglichen Freisetzung (z.B. Gasbildungsrate, Konvergenz, Löslichkeiten/Mobilisierung, Transportverzögerung). Die Parameter des Deckgebirges können nicht beeinflusst werden.

Daher ist zur Verringerung der radiologischen Auswirkungen eine Analyse der wesentlichen (sensitiven) Parameter des Modellkompartiments Grube sinnvoll. Dies ist in dem vorliegenden Langzeitsicherheitsnachweis erfolgt, der näherungsweise das nach einem Lösungszutritt existierende System beschreibt (ob nun künstlich oder natürlich). Stark vereinfacht wird die potenzielle Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage in GRS (2009) abschätzt.

Wesentliche Sicherheitsziele zur Begrenzung der Auswirkungen eines Lösungszutritts sind:

- Begrenzung und Behinderung der Lösungsbewegung im Grubengebäude
- Verzögerung des Radionuklidtransports im Grubengebäude
- Vermeidung von direkten Wegsamkeiten zwischen den ELK und dem Deckgebirge
- Minimierung der gas- und konvergenzgetriebenen Lösungsauspressung aus dem Grubengebäude

Im Rahmen der Notfallvorsorge bzw. zur Verminderung der radiologischen Konsequenzen bei einem auslegungsüberschreitenden Lösungszutritt sind daher folgende Maßnahmen zielführend:

- Ablenkung der potenziellen Lösungszuflüsse von den Einlagerungskammern durch Drainagebohrungen
- Abdichtung bestehender potentieller Schwachstellen der salinaren Schutzschicht zur Minimierung der möglichen Zuflussrate in den Bereich der Einlagerungskammern (z. B. Hauptquerschlag nach Süden aus Abbau 3/750)
- Ertüchtigung von Kammerverschlüssen der ELK und Verfüllung von Grubenbauen in der Nachbarschaft von Einlagerungskammern zur Verbesserung oder Erhaltung deren Integrität und der Zugänglichkeit für Lösungen

- Vorbereitung zur Verfüllung von Blindschächten, Wendelstrecken und Großlochbohrungen über mehrere Sohlen mit einem geeigneten Material, um das Entstehen von Transportkanälen zu vermeiden.
- Vorbereitung zur Errichtung von Bauwerken zur Verzögerung und Lenkung von potentiellen Lösungsströmen in der Grube
- Maßnahmen zur Begrenzung der Gasbildung in der Nachbetriebsphase (Entfernung unnötiger Metallteile)
- Verfüllung des flutungszugänglichen Resthohlraumvolumens zur Verringerung der Konvergenz und damit Verlängerung von Transportzeiten von Schadstoffen im Grubengebäude

Eine zeitliche Einordnung der genannten grundsätzlichen Maßnahmen im Sinne des Kapitels 4.1 kann ohne technische Planung (konkreter Zeitbedarf) nicht erfolgen. Es ist absehbar, dass Teile dieser Maßnahmen nicht binnen Wochen oder wenigen Monaten realisiert werden können. Im Hinblick auf die Einteilung von Betriebsphasen ist der sichere Betrieb von der Phase der Realisierung der Notfallmaßnahmen zu unterscheiden.

Zum sicheren Betrieb gehören die Vorkehrungen, die das Eintreten von Ereignissen, bei denen weder ein Weiterbetrieb möglich ist, noch eine geordnete Stilllegung durchgeführt werden kann, verhindern oder – wenn dies nicht möglich ist – die Auswirkungen solcher Ereignisse verringern.

Voraussetzung für die Durchführung der Notfallmaßnahmen ist die Feststellung, dass ein geordneter Betrieb nicht mehr gewährleistet werden kann (Notfall). Diese Feststellung wird vom Betreiber in Abstimmung mit den Aufsichts- und Genehmigungsbehörden erst dann getroffen, wenn die zutretenden Lösungen nicht mehr sicher abgegeben werden können oder absehbar ist, dass dieser Zustand aufgrund von progressiv ablaufenden Prozessen kurzfristig eintreten wird. Denkbare Maßnahmen in einen solchen Fall zur Minimierung der Konsequenzen sind:

- Verfüllung der Resthohlräume der MAW-Kammer mit Sorelbeton oder einem anderen geeigneten Material und Einstellung eines günstigen chemischen Milieus.
- Verfüllung der Resthohlräume der LAW-Kammern und der Abbaue im Baufeld in der Südflanke mit Sorelbeton oder einem anderen geeigneten Material, um das Entstehen von Transportkanälen zu vermeiden.
- Maßnahmen zur Einstellung eines günstigen chemischen Milieus in den LAW-Kammern zur Löslichkeitsbegrenzung für dosisrelevante Radionuklide.
- Maßnahmen zur Minimierung von Umlösungen durch Verfüllung mit einem mit dem Salzgestein weitgehend im Gleichgewicht stehenden Fluid (sog. „Gegenflutung“).
- Erstellung der Schachtverschlüsse

# LITERATUR

- AGO (2008a): Stellungnahme zum Bericht der CDM Consult GmbH Bochum: „Konzeptstudie zur Erhöhung der Versatzsteifigkeit der mit Salzgrus verfüllten Kammern der Südwestflanke der Schachanlage Asse II“.- unveröff. Bericht der Arbeitsgruppe Optionenvergleich im Auftrag des BMBF, BMU und NMU, Karlsruhe, 21.10.2008.
- AGO (2008b): Stellungnahme zum Bericht Stellungnahme zum Bericht des Helmholtz Zentrum München: „Entwurf der Störfallanalyse“.- unveröff. Bericht der Arbeitsgruppe Optionenvergleich im Auftrag des BMBF, BMU und NMU, Karlsruhe, 14.10.2008.
- AGO (2009): Bewertung von Optionen zur Verbesserung der Sicherheitssituation im Rahmen der Stilllegung der Schachanlage Asse II - Abschlussbericht der AGO-Phase-1 (2008).- unveröff. Bericht der Arbeitsgruppe Optionenvergleich im Auftrag des BMBF, BMU und NMU, Karlsruhe, 12.02.2009.
- ASSE GMBH (2009a): Zusammenstellung und Bewertung der im Grubengebäude der Schachanlage Asse II aufgetretenen Salzlösungen und Gase. – unveröff. Bericht der Asse GmbH und der Technischen Universität Clausthal, im Auftrag des BfS, BfS- 9A/6422210000/HG/RB/0002/00; Remlingen, 11.03.2009.2009.
- Asse GmbH (2009b): Notfallplan für vorhersehbare Ereignisse gemäß § 11 Abs. I Nr. 6 ABergV und Brandschutzplan über Maßnahmen und Einrichtungen zum Brandschutz (gemäß Anhang 1 Nr. 1 4.5 ABergV) sowie Rettungspläne (gemäß § 201a ABVO) der Schachanlage Asse II – unveröff. Bericht der Asse GmbH im Auftrag des BfS, Remlingen, 10.09.2009.
- BfS (2007a): Prüfung von Unterlagen zur Schließung der Schachanlage Asse II im Hinblick auf die Anforderungen eines atomrechtlichen Planfeststellungsverfahrens. – unveröff. Bericht des Bundesamtes für Strahlenschutz, BfS-SE-IB 23/07; Salzgitter, 26. September 2007
- BfS (2009a): Abdichtung der Lösungszutritte an der Südflanke des Endlagers Asse mittels Injektion von Außen. – unveröff. Bericht des Bundesamtes für Strahlenschutz, Salzgitter, 26. Juni 2009.
- BfS (2009b): Einschätzung der möglichen Entwicklung des Lösungszutrittes während der Betriebsphase der Schachanlage Asse II. – unveröff. Bericht des Bundesamtes für Strahlenschutz, BfS-9A/64222000/HGH/RB/0001/00 ; Salzgitter, 12.06.2009.
- BMI (1983a): Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk. Bundesanzeiger 35 (1983) Nr 2 S. 45/46
- BMU (2009): Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder Radioaktiver Abfälle - [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/endaussagen\\_sicherheitsanforderungen\\_bf.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/endaussagen_sicherheitsanforderungen_bf.pdf)
- CDM (2008): Konzeptstudie zur Erhöhung der Versatzsteifigkeit der mit Salzgrus verfüllten Kammern der Südwestflanke der Schachanlage Asse II. – unveröff. Bericht der CDM Consult GmbH im Auftrag des BMBF, Bochum, 12.09.2008.
- DBETec (2009): Systembeschreibung: Verwertung der Zutrittslösung und Bereitstellung von Verfüllstoffen. – unveröff. Bericht der DBE-Tec GmbH im Auftrag des BfS, BfS- 9A/62250000/JA/RB/0002/00, Peine, 19.02.2009.
- GRS (2009): Abschätzung potenzieller Strahlenexpositionen in der Umgebung der Schachanlage Asse II infolge auslegungsüberschreitender Zutrittsraten der Deckgebirgslösungen während der Betriebsphase. – unveröff. Bericht Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS im Auftrag des BfS, GRS – A – 3468; Braunschweig, 21. April 2009.
- IFG (2009): Gebirgsmechanische Zustandsanalyse und Prognose auf der Basis von Standortdaten sowie 3D-Modellrechnungen. – unveröff. Bericht des Instituts für Gebirgsmechanik GmbH (IfG) im Auftrag des BfS, BfS-9A/64331000/GC/RB/0005/00, Leipzig, 11.03.2009

ISTEC (2009a): Sicherheitsüberprüfung der Störfallvorsorge der Schachtanlage Asse II. – unveröff. Bericht Institut für Sicherheitstechnologie (ISTec) GmbH im Auftrag des BfS, ISTec – A – 1237; Köln, 30 September 2009.

ISTEC (2009b): Sicherheitsüberprüfung des bestimmungsgemäßen Betriebes der Schachtanlage Asse II. – unveröff. Bericht Institut für Sicherheitstechnologie (ISTec) GmbH im Auftrag des BfS, ISTec – A – 1376; Köln, 30 September 2009.