



Bundesamt für Strahlenschutz

**Die Strahlenexposition der Beschäftigten der
Schachtanlage Asse II von 1967 bis 2008**

- Gesundheitsmonitoring Asse -

Projektleitung:	PD Dr. Michaela Kreuzer
Projektgruppe:	Dr. Udo Gerstmann Lothar Kammerer Karl König Dr. Dietmar Noßke Dr. Maria Schnelzer Dr. Christopher Strobl Dr. Annemarie Tschense
Projektsteuerung:	Dr. Thomas Jung

Bundesamt für Strahlenschutz
Postfach 10 01 49
D-38201 Salzgitter
Telefon: +49(0)30 18333-0
Telefax: +49(0)30 18333-1885

E-Mail: ePost@bfs.de

Bundesamt für Strahlenschutz, Februar 2011

Danksagung

Die Autoren des Berichtes danken der Asse GmbH und deren Mitarbeitern. Dieser Dank gilt insbesondere Herrn Dr. Herbert Meyer, Herrn Ralf Speck und Herrn Eberhard Schaper für die Unterstützung bei der Aufbereitung, Übermittlung und Erklärung der Daten zu Beschäftigung und Strahlenexpositionen, dem Betriebsrat und der Geschäftsführung der Asse GmbH für die stete Unterstützung des Projekts und ganz besonders den befragten Mitarbeitern und ehemaligen Mitarbeitern für ihre Gesprächsbereitschaft.

Auch zahlreiche Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen des BfS außerhalb der Projektgruppe GM Asse haben zur Erstellung dieses Berichtes wesentlich beigetragen. Die Autoren bedanken sich hier bei Frau Adina Lange und Frau Karin Wieduwilt, den beiden Datenschutzbeauftragten des BfS, bei Frau Dr. Christiane Wittwer für hilfreiche Diskussionsbeiträge, bei den Mitarbeitern der Infostelle Asse für Ihre Unterstützung bei der Befragung der Mitarbeiter der Schachanlage Asse II, bei den Mitarbeitern des Fachbereichs „Sicherheit nuklearer Entsorgung“ für die sorgfältige Durchsicht des Berichtes und bei Herrn Dr. Bernd Grosche, Frau Christiane Pölzl und Herrn Axel Malinek von der Arbeitsgruppe Risikokommunikation, Strahlenrisiko und Strahlenschutzkonzepte für zahlreiche wertvolle Kommentare sowie bei Frau Inke Thiele, die an dem Projekt als Praktikantin mitgearbeitet hat.

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	6
1. EINLEITUNG.....	12
2. HINTERGRUND.....	15
2.1 Die Schachtanlage Asse II	15
2.2 Umgang mit radioaktiven Stoffen in der Schachtanlage Asse II.....	16
2.3 Strahlenschutz bei der Schachtanlage Asse II	20
3. DATENSCHUTZ	22
4. PERSONAL- UND BESCHÄFTIGUNGSDATEN	22
4.1 Die vom „Gesundheitsmonitoring Asse“ erfassten Beschäftigten.....	22
4.2 Arbeitsanamnesen.....	26
5. STRAHLENEXPOSITIONSDATEN	28
5.1 Personendosimetrie.....	30
5.2 Inkorporationsüberwachung	36
5.3 Ortsdosis(leistungs)messungen	41
5.4 Messungen der Abluft.....	46
5.5 Messungen der Aktivität in der Grubenluft	50
5.6 Messungen der Aktivität in Salzlösungen	60
5.7 Kontaminationen.....	63
6. DATENBANKKONZEPT	67
7. BEFRAGUNG BESCHÄFTIGTER.....	67
8. QUANTIFIZIERUNG DER INDIVIDUELLEN STRAHLENDOSIS	71
8.1 Bestimmung der externen Dosis.....	71
8.2 Bestimmung der internen Dosis.....	74
8.3 Bestimmung der Dosis durch Aktivität in Salzlösungen.....	78
8.4 Inkorporationen bei Kontaminationsereignissen.....	79
9. ERGEBNISSE DER QUANTIFIZIERUNG DER STRAHLENEXPOSITION.....	80
9.1 Geschätzte jährliche effektive Dosis.....	80
9.2 Geschätzte Berufslebensdosis	84
10. AUSSAGEKRAFT DER ERGEBNISSE UND AUSBLICK.....	86
LITERATURVERZEICHNIS.....	93
ANHANG 1: DATENSCHUTZKONZEPT	95
ANHANG 2 : INKORPORATIONSÜBERWACHUNG	98
ANHANG 3 : DATENBANKKONZEPT	111

Zusammenfassung

Durch den vorliegenden ersten Schritt des Gesundheitsmonitorings Asse (GM Asse) liegt erstmals eine umfassende, aussagefähige Dokumentation der Strahlenbelastung der im Zeitraum 1967 bis 2008 bei der Schachanlage Asse II beschäftigten Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen vor. Die auf Basis der vorhandenen Mess- und Beschäftigungsdaten des früheren Betreibers HMGU durch das BfS abgeschätzte Strahlenbelastung ist zu gering, als dass nach dem Stand von Wissenschaft und Technik dadurch nachweisbar Krebserkrankungen ausgelöst werden könnten. Seit dem Beginn der Einlagerungen radioaktiver Abfälle in die Schachanlage Asse II 1967 sind die jeweils zu erfüllenden rechtlichen Anforderungen an die Strahlenschutzüberwachung der Beschäftigten anspruchsvoller geworden. Es kann nicht von einer vollständigen Erfassung aller strahlenschutzrelevanten Daten über den gesamten Zeitraum ausgegangen werden, insbesondere im Hinblick auf eine vollständige Dokumentation aller strahlenschutzrelevanten Arbeitssituationen. Es ist daher nicht auszuschließen, dass es in Einzelfällen zu nicht dokumentierten, höheren Strahlenbelastungen gekommen ist. Für die Beschäftigten insgesamt ist die vorhandene Datenbasis aussagefähig und wissenschaftlich belastbar.

Auf dieser Grundlage des vorliegenden ersten Schrittes des Gesundheitsmonitorings Asse können Beschäftigte im zweiten Schritt des Gesundheitsmonitorings ihre individuelle Strahlenbelastung erfahren und bewerten lassen. Dabei wird die persönliche Strahlenbelastung möglichst passgenau und auf der Grundlage zusätzlicher belastbarer persönlicher Angaben abgeschätzt, bewertet und erklärt.

Hintergrund

Zwischen April 1967, dem Beginn der Einlagerung radioaktiver Abfälle in der Schachanlage Asse II, und Ende 2008 waren ca. 700 Personen dort beschäftigt. Anfang 2009 traten einige ehemalige Beschäftigte, die an Krebs erkrankt waren und die ihre Erkrankung auf ihre Tätigkeit in der Schachanlage Asse II zurückführen, an die Öffentlichkeit. Aus den Veröffentlichungen des bis Ende 2008 zuständigen Betreibers, dem Helmholtz Zentrum München für Gesundheit und Umwelt (HMGU, früher GSF) ergaben sich zu diesem Zeitpunkt keine belastbaren Erkenntnisse, die diese Vermutungen stützten. Allerdings gab es Widersprüche zwischen den dokumentierten Arbeitsabläufen auf der Asse und Berichten einzelner betroffener ehemaliger Mitarbeiter.

Um den Widersprüchen hinsichtlich der Strahlenbelastungen der Beschäftigten auf der Schachanlage Asse II und den Sorgen der Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen der Asse Rechnung zu tragen, hat das BfS Anfang 2009 das Gesundheitsmonitoring Asse (GM Asse) gestartet. Hierfür wurde die Projektgruppe GM Asse eingerichtet, die sich aus Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des BfS zusammensetzte. Bei der Datenrecherche wurde die Projektgruppe von Mitarbeitern der Asse GmbH unterstützt, die im Auftrag der Projektgruppe Daten und Dokumente des früheren Betreibers HMGU sichteteten, zusammenstellten und elektronisch erfassten. Der Bundesbeauftragte für den Datenschutz und Informationsfreiheit und der Betriebsrat der Asse GmbH haben dem Vorgehen des GM Asse zugestimmt.

Die beiden Schritte des Gesundheitsmonitorings

Das GM Asse besteht aus zwei Teilen. Im ersten Schritt wurde rückblickend das Ausmaß der Strahlenbelastung möglichst vollständig erfasst, der die Beschäftigten bei ihren Tätigkeiten auf der Schachanlage Asse II ausgesetzt waren. Die vorliegenden Daten wurden auf Aussagefähigkeit und wissenschaftliche Belastbarkeit geprüft und dienten als Ausgangsbasis für die Entwicklung eines Quantifizierungskonzepts. Mit diesem Quantifizierungskonzept wurde die Strahlendosis für jeden Beschäftigten individuell berechnet. Der erste Teil ist mit dem jetzt vorgelegten Bericht abgeschlossen.

Im zweiten Schritt werden alle ehemaligen und derzeitigen Beschäftigten von der Asse GmbH, der vom BfS beauftragten Betriebsführerin des Endlagers Asse, angeschrieben und über das nun vorliegende Ergebnis des ersten Teils des GM Asse informiert. Jeder/Jedem Beschäftigten wird in diesem zweiten Schritt das Angebot gemacht, auf Anfrage ihre/seine persönliche Strahlendosis mitgeteilt zu bekommen. Das damit verbundene Gesundheitsrisiko wird bewertet und erläutert. Vor Beginn der Abschätzung der persönlichen Strahlendosis werden zusammen mit dem/der Beschäftigten nochmals die Angaben zu seiner/ihrer Beschäftigungshistorie besprochen, um möglichst passgenau auf die Einzelperson die persönliche Berechnung durchführen zu können.

Betrachteter Personenkreis des GM Asse

In das GM Asse wurden alle zwischen April 1967 und Dezember 2008 bei der Schachanlage Asse II beschäftigten Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen aufgenommen, für die die Möglichkeit einer beruflichen Strahlenexposition bestand. Dazu gehörten alle Personen, die entweder über oder unter Tage dosimetrisch (z.B. über Filmdosimeter) überwacht oder für die Informationen zu Unter-Tage-Schichten verzeichnet waren. Insgesamt sind dies 433 Personen. Des Weiteren wurden vorsorglich auch 188 Beschäftigte, die keiner Strahlenschutzüberwachung unterlagen und für die rückwirkend nicht geklärt werden konnte, ob sie jemals unter Tage gearbeitet haben, berücksichtigt. Zusätzlich wurden 71 Mitarbeiter von Fremdfirmen, die während ihrer Arbeiten auf der Schachanlage Asse II vom dortigen Strahlenschutz dosimetrisch überwacht waren, in das Monitoring aufgenommen. Das GM Asse umfasst damit insgesamt 692 Personen.

Mitarbeiter von Fremdfirmen, die nicht vom Strahlenschutz der Schachanlage Asse II dosimetrisch überwacht wurden, konnten nicht in das GM Asse aufgenommen werden, da zu diesem Personenkreis beim früheren Betreiber der Schachanlage Asse II keine Informationen vorlagen. Es ist aber jederzeit möglich, für diese Personen eine Abschätzung der Strahlenbelastung durchzuführen, sofern dies beim BfS vom Beschäftigten beantragt wird und dem BfS die jeweiligen Beschäftigungszeiten und ggf. weitere erforderliche Daten mitgeteilt werden.

Daten zur beruflichen Strahlenexposition

Zunächst galt es zu entscheiden, ob es sinnvoll und notwendig ist, alle derzeitigen und ehemaligen Beschäftigten (ca. 700 Personen) hinsichtlich ihrer möglichen Strahlenbelastung im Zuge ihrer Tätigkeiten auf der Asse zu befragen, um anschließend eine epidemiologische Studie zur Risikoabschätzung durchzuführen. Eine erste Sichtung der bei der Asse GmbH – als Betriebsführerin hier Nachfolgerin der HMGU - vorhandenen Unterlagen zu Personal- und Beschäftigungsdaten sowie von Messwerten zur Strahlenbelastung ergab, dass die vor-

liegenden Dokumentationen umfangreich und zur Ermittlung der persönlichen Strahlenbelastung ausreichend erschienen. Das BfS hat deshalb entschieden, dass eine zusätzliche Befragung *aller* 700 früheren und derzeitigen Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen zu den jeweiligen Beschäftigungshistorien weder notwendig noch sinnvoll ist. Es wurde daher eine ausgewählte Gruppe von Beschäftigten zu früheren Arbeitsabläufen und Strahlenschutzregelungen befragt, um mit Hilfe von deren Aussagen die vom früheren Betreiber HGMU dokumentierten Daten - soweit rückwirkend möglich - auf Vollständigkeit und Richtigkeit zu prüfen. Hiermit konnten einige Widersprüche zwischen der Dokumentation des früheren Betreibers HMGU sowie Berichten einzelner ehemaliger Mitarbeiter geklärt werden. Andere Widersprüche konnten nicht geklärt werden, da die Erinnerungen untereinander verglichen ebenfalls widersprüchlich waren und sich somit kein belastbares Bild erstellen ließ. Diese Unsicherheiten wurden bei den Auswertungen des BfS durch konservative Annahmen berücksichtigt.

Zur Ermittlung der beruflichen Strahlenexposition auf der Schachtanlage Asse II während der Einlagerungsphase (1967-1978) und Umlagerungsphase (bis 1980) sowie für die Phase danach (1981-2008) wurden alle vorhandenen Messdaten des früheren Betreibers HMGU bzw. von anderen dem BfS zugänglichen Stellen gesichtet, auf Belastbarkeit geprüft und ausgewertet. Diese Ermittlung umfasste:

- die personenbezogenen Daten der amtlichen und betrieblichen Personendosimetrie („Filmplaketten“)
- die personenbezogenen Daten der Überwachung einer möglichen Aufnahme radioaktiver Stoffe in den Körper (Inkorporationsüberwachung),
- radiologische Messwerte in der Grube,
- radiologische Messwerte der Grubenluft,
- radiologische Messwerte der Abluft,
- radiologische Messwerte von Salzlösungen und
- Aufzeichnungen zu Kontaminationsereignissen

383 Personen des GM Asse unterlagen zwischen 1967 und 2008 der amtlichen Strahlenschutzüberwachung mit persönlichen Filmdosimetern. 99% der vorliegenden monatlichen Messwerte der Personendosimeter lagen unterhalb der Nachweisgrenze der eingesetzten Dosimeter. In keinem Fall wurde der jeweils gültige Grenzwert überschritten. Für den Zeitraum nach 1978 kann allerdings nicht mit Sicherheit davon ausgegangen werden, dass alle Personen unter Tage Filmdosimeter getragen haben. Diese Tatsache wurde im Quantifizierungskonzept berücksichtigt, entsprechend wurden konservative Annahmen verwendet und Ersatzwerte für die Dosis festgelegt.

292 Personen des GM Asse unterlagen zwischen 1972 und 2008 einer zunächst zweijährigen, später jährlichen Inkorporationsüberwachung im Ganzkörperzähler (d.h. einer Messung durch ein Gerät, das in den Körper aufgenommene Strahlung erfassen kann). Bis auf wenige Ausnahmen liegen fast alle der insgesamt 2.616 Messwerte unter der Nachweisgrenze. Bei drei Mitarbeitern wurden im März 1974 erhöhte Werte der Radionuklid Caesium-134 bzw. -137 beobachtet. Es ist unklar, ob diese möglicherweise durch ein Kontaminationsereignis verursacht wurden, das sich im Dezember 1973 ereignet hatte. Das BfS veranlasste deshalb im Rahmen des GM Asse bei zwei dieser Mitarbeitern, die der Nachuntersuchung zustimmten, Ausscheidungsanalysen, um die mögliche Inkorporation anderer Radionuklide mit langen Verweilzeiten im Körper zu überprüfen. Diese Analysen ergaben im Rahmen der Messmöglichkeiten Jahrzehnte nach einer möglichen Inkorporation keine auffälligen Befunde.

Nach dem Tschernobyl-Unfall 1986 wurden anfangs – wie in der Allgemeinbevölkerung – bei allen Beschäftigten erhöhte inkorporierte Caesium-134/137-Werte beobachtet.

Neben diesen personenbezogenen Daten liegen Daten zur Höhe und Art der in der Schachtanlage Asse gemessenen Strahlung vor. Im Einzelnen sind dies Messungen zur Ortsdosis (ab 1975), zur Ortsdosisleistung (ab 1980) und in der Grubenluft zur Aktivitätskonzentration des Luftstaubs (ab 1969), zu Radon (ab 1989), zu Tritium (ab 1972) sowie nuklidspezifische Messungen (ab 1976) an diversen Messstellen. Des Weiteren wurde ab 1978 die Aktivitätskonzentration in der Abluft sowie ab 1988 die spezifische Aktivität in Salzlösungen gemessen. Mehr als 200 aufgetretene Kontaminationen wurden vom früheren Betreiber HMGU dokumentiert.

Das Konzept zur Quantifizierung der individuellen Dosis

Mit Hilfe eines eigens entwickelten, detaillierten Quantifizierungskonzepts wurde für jeden der 692 Beschäftigten des GM Asse die effektive Dosis berechnet. Die effektive Dosis umfasst die Strahlendosis durch äußere Belastung (Strahlung aus der Umgebung oder durch Radionuklide auf der Haut) und innere Belastung (Einatmen, Verschlucken). Wo immer keine sicher belastbaren Angaben vorlagen wurden maximale Annahmen getroffen (konservatives Vorgehen), die die reale Belastung überschätzen. So wurde beispielsweise für jede Person eine Verweildauer unter Tage von 2000 Stunden für jedes Beschäftigungsjahr angenommen, wohingegen ein Beschäftigungsjahr im Regelfall für Bergleute etwa 1600 Stunden hat.

Die effektive Dosis ist ein Maß für die Strahlenexposition der Beschäftigten. Sie wird gebildet als Summe der gewichteten sog. Organdosen. Die Wichtung erfolgt nach der Strahlenempfindlichkeit der menschlichen Organe. Die Organdosis wiederum ist das Produkt aus der mittleren Energiedosis in einem Organ und dem Strahlenwichtungsfaktor. Über den Strahlenwichtungsfaktor wird die unterschiedliche biologische Wirksamkeit der unterschiedlichen Strahlenarten (Gamma-, Alpha- und Beta-Strahlung) berücksichtigt, da z.B. Alphastrahlung im Körper eine stärkere Wirkung hat als Gammastrahlung.

Zur Bestimmung der externen Dosis wurden für die Einlagerungs- und Umlagerungsphase (1967-1980) die Werte der Personendosimeter verwendet. Im Unterschied zum Vorgehen bei der standardisierten amtlichen Personendosimetrie wurden im GM Asse bei Messungen unterhalb der Nachweisgrenzen die jeweiligen Nachweisgrenzen der Dosimeter anstelle der Nullwerte verwendet. Nicht strahlenschutzüberwachten Personen wurden in den jeweiligen Jahren konservativ die Nachweisgrenzen dieser Dosimeter zugeordnet. Ab 1980 wurde für jeden Beschäftigten eine jährliche Aufenthaltszeit unter Tage von 2000 Stunden angenommen und die nach Aufenthaltszeit gewichtete mittlere jährliche Ortsdosisleistung der jeweiligen Messstellen in der Grube zugeordnet. Zusätzlich wurden positive Dosimeterwerte addiert.

Zur Bestimmung der internen Dosis wurden alle Strahlenquellen berücksichtigt, die einen relevanten Beitrag zur Strahlenexposition erwarten lassen. Hier wurde ein Dosisbeitrag von mehr als 0,02 Millisievert pro Jahr als relevant eingestuft. Nach umfangreicher Bewertung aller vorhandenen Messdaten zur Gruben- und Abluft sowie zu nuklidspezifischen Messungen durch die Projektgruppe GM Asse sind dies Radon und seine Folgeprodukte, langlebige Radionuklide im Luftstaub und Tritium.

Salzlösungen, die überwiegend mit Cäsium-137 und Tritium kontaminiert waren, wurden ebenfalls hinsichtlich ihrer Dosisbeiträge bewertet. Für den Umgang mit diesen Laugen wurden verschiedene Expositionspfade betrachtet: Externe Strahlung aus den Behältern oder

von Ablagerungen auf der Haut und der Kleidung sowie Inkorporationen über Einatmen, Aufnahme über die Haut oder mögliches Verschlucken kleiner Mengen. Mit dem betrachteten Szenario ergaben sich dadurch mit wenigen Ausnahmen Jahresdosiswerte von weniger als 0,02 Millisievert. Die Ausnahmen (bis max. 0,041 Millisievert) betrafen die Jahre 2006-2008.

Von den über 200 vom früheren Betreiber HMGU dokumentierten Kontaminationsereignissen wurden vom BfS nach Prüfung vier Ereignisse als für die Beschäftigten strahlenschutzrelevant eingestuft und ausgewertet. Dies waren die Kontaminationsereignisse im Dezember 1973, im November 1974, Dezember 1978 und September 1980.

Ergebnis

Die auf Basis der vorhandenen Mess- und Beschäftigungsdaten des früheren Betreibers HMGU durch das BfS abgeschätzte Strahlenbelastung ist zu gering, als dass nach dem Stand von Wissenschaft und Technik dadurch nachweisbar Krebserkrankungen ausgelöst werden könnten. Für die Beschäftigtengruppe insgesamt ist die vorhandene Datenbasis aussagefähig und wissenschaftlich belastbar. Es ist aber nicht auszuschließen, dass es in Einzelfällen zu nicht dokumentierten, höheren Strahlenbelastungen gekommen ist.

Insgesamt liegt die abgeschätzte Gesamt-Berufslebensdosis (d.h. die Strahlendosis jedes Beschäftigten, die sie/er während seiner/ihrer beruflichen Tätigkeit insgesamt auf der Schachanlage Asse II erhalten hat) aus externer und interner Strahlenbelastung im Durchschnitt pro Beschäftigtem bei 12 Millisievert und im höchsten Fall bei einem Beschäftigten 115 Millisievert. Diese Werte liegen unter dem derzeit gültigen Grenzwert für die Berufslebensdosis von 400 Millisievert. Betrachtet man zum Vergleich die mittlere effektive Dosis aus natürlicher Strahlung in der Allgemeinbevölkerung in Deutschland, so liegt diese zwischen 2 und 3 Millisievert pro Jahr, d.h. im Berichtszeitraum von 1967 bis 2008 zusammengefasst bei etwa 100 Millisievert. Als höchste Gesamtjahresdosis wurde ein Wert von 17,4 Millisievert im Jahr 1972 bei einem Beschäftigten beobachtet. Dieser Wert liegt unter dem damals gültigen Grenzwert von 50 Millisievert pro Jahr und dem heute gültigen Grenzwert von 20 Millisievert pro Jahr.

Etwa 75 Prozent der im GM Asse betrachteten Beschäftigten weisen den Berechnungen zufolge eine geschätzte Berufslebensdosis von weniger als 10 Millisievert auf. Für 7 Prozent (41 Personen) ergab sich eine Dosis von über 50 Millisievert und für 1 Prozent (7 Personen) eine Dosis von über 100 Millisievert mit einem Maximum von 115 Millisievert. Alle Personen mit Dosen über 50 Millisievert waren langjährig und bereits in der Einlagerungsphase (60iger und 70iger Jahre) bei der Asse tätig.

Die externe Strahlung leistet den höchsten Beitrag zur effektiven Strahlendosis der Beschäftigten. Die Berufslebensdosis beträgt durchschnittlich für jeden Beschäftigten 6,2 Millisievert und im Maximum bei einem Beschäftigten 79,3 Millisievert aus externer Strahlung. Im Jahr 1972 während der Einlagerungsphase wurde bei einer Person der mit Abstand höchste Jahresdosiswert mit 17 Millisievert beobachtet. Den zweitwichtigsten Beitrag zur effektiven Dosis erbringt die Strahlenbelastung durch Radon und seine Zerfallsprodukte mit einer durchschnittlichen Berufslebensdosis von 4,6 Millisievert. Danach folgt der Dosisbeitrag durch langlebige Alpha- bzw. Beta-Radionuklide im Luftstaub mit einer mittleren Gesamtdosis von 0,7 bzw. 0,3 Millisievert (Höchstwerte 3,8 bzw. 1,8 Millisievert). Für Tritium hingegen beträgt die Berufslebensdosis im Mittel 0,1 Millisievert und im Maximum 1 Millisievert. Die aus den vier größeren Kontaminationsereignissen im Dezember 1973, im November 1974, Dezember

1978 und September 1980 unter konservativen Annahmen abgeschätzten Dosiswerte liegen für Beschäftigte, die zu dieser Zeit unter Tage tätig waren bei jeweils 0,95, 1,3, 0,029 und 0,35 Millisievert. Alle Werte stellen aufgrund der konservativen Abschätzungen Maximalwerte dar.

Grenzen der Aussagekraft

Zur Durchführung des GM Asse wurde auf Daten des früheren Betreibers HMGU zurückgegriffen. Die Messdaten wurden vom BfS auf Plausibilität überprüft. Seit dem Beginn der Einlagerungen radioaktiver Abfälle in die Schachanlage Asse II 1967 sind die jeweils zu erfüllenden rechtlichen Anforderungen an die Strahlenschutzüberwachung der Beschäftigten anspruchsvoller geworden. Es kann nicht von einer vollständigen Erfassung aller strahlenschutzrelevanten Daten über den gesamten Zeitraum ausgegangen werden, insbesondere im Hinblick auf eine vollständige Dokumentation aller strahlenschutzrelevanten Arbeitssituationen. Für die Ermittlung der Strahlenbelastung der Beschäftigten wurden daher Berechnungsverfahren eingesetzt, die die tatsächlichen Belastungen im Falle von Unsicherheiten überschätzen (konservative Annahmen), so dass die ermittelten Strahlenbelastungen eine maximale Abschätzung darstellen. Es ist aber nicht auszuschließen, dass es in Einzelfällen zu nicht dokumentierten, höheren Strahlenbelastungen gekommen ist. Für die Beschäftigten insgesamt ist die vorhandene Datenbasis aussagefähig und wissenschaftlich belastbar.

Ausblick

Die vom BfS mit der Betriebsführung des Endlagers Asse beauftragte Asse GmbH wird im nun folgenden zweiten Schritt des GM Asse alle ehemaligen und derzeitigen Beschäftigten – soweit Postanschriften vorhanden sind - anschreiben und über die Ergebnisse des vom BfS erarbeiteten Gesundheitsmonitorings informieren. Jeder/Jedem Beschäftigten wird in diesem zweiten Schritt das Angebot gemacht, auf Anfrage ihre/seine persönliche Strahlendosis mitgeteilt zu bekommen. Das damit verbundene Gesundheitsrisiko wird bewertet und erläutert und anhand zusätzlicher belastbarer persönlicher Angaben überprüft. Falls Beschäftigte verstorben sind, werden die Angehörigen entsprechend informiert.

Das BfS kann auf Wunsch auch für Mitarbeiter von Fremdfirmen eine Abschätzung der Strahlenbelastung erstellen. Mitarbeiter von Fremdfirmen waren im Allgemeinen nicht vom Strahlenschutz der Asse dosimetrisch überwacht und sind deshalb nicht im GM Asse berücksichtigt. Die Mitarbeiter von Fremdfirmen können sich in ähnlicher Weise an das BfS wenden wie Beschäftigte der Schachanlage Asse II.

1. EINLEITUNG

Zwischen April 1967, dem Beginn der Einlagerung radioaktiver Abfälle in der Schachtanlage Asse II, und Ende 2008 waren etwa 700 Personen bei der Schachtanlage Asse II beschäftigt. Anfang 2009 traten einige ehemalige Beschäftigte, die an Krebs erkrankt waren und die ihre Erkrankung auf ihre Beschäftigung auf der Schachtanlage Asse II zurückführen, an die Öffentlichkeit. In veröffentlichten Stellungnahmen wurde von ihnen der Verdacht geäußert, dass die Strahlenbelastungen während ihrer Beschäftigung bei der Asse als Auslöser der Erkrankung verantwortlich seien. Bei den Berufsgenossenschaften lagen diesbezüglich erste Anträge auf Anerkennung einer Berufserkrankung vor. Auch der Oberstaatsanwaltschaft Braunschweig liegen Anzeigen vor und sie prüft, ob in diesen Fällen zu ermitteln sei.

Aus den Veröffentlichungen des damaligen Betreibers, ehemals GSF, heute Helmholtz Zentrum München (HMGU), im weiteren für den gesamten Berichtszeitraum 1967 bis 2008 kurz Betreiber HMGU genannt, ergaben sich zu diesem Zeitpunkt keine belastbaren Erkenntnisse, die diese Mutmaßungen stützten. Allerdings ergaben sich Widersprüche zwischen den Veröffentlichungen und Mitteilungen des ehemaligen Betreibers HMGU einerseits und von ehemaligen Beschäftigten in den Medien geschilderten Arbeitsumständen andererseits. Um diesen Widersprüchen und den Befürchtungen dieser und anderer Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen der Asse Rechnung zu tragen, hat das BfS Anfang 2009 eine Untersuchung der Strahlenexpositionen der Beschäftigten der Schachtanlage Asse II für den Zeitraum 1967 bis 2008, kurz Gesundheitsmonitoring Asse (GM Asse) genannt, gestartet.

Die Planung des Gesundheitsmonitoring Asse begann im Januar 2009 nach der Übernahme der Schachtanlage Asse II durch das BfS. Hierfür wurde eine Projektgruppe „Gesundheitsmonitoring Asse“ gebildet, die sich aus Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des BfS zusammensetzt. Bei der Datenrecherche wurde die Projektgruppe des BfS von Mitarbeitern der Asse GmbH unterstützt.

Als erstes galt es zu entscheiden, ob es sinnvoll und notwendig ist, alle derzeitigen und ehemaligen Beschäftigten (ca. 700 Personen) hinsichtlich ihrer Strahlenbelastung und möglicher Krebserkrankungen zu befragen, um anschließend eine epidemiologische Studie zur Risikoabschätzung durchzuführen.

Eine erste Sichtung der bei der Asse GmbH vorhandenen Unterlagen zu Personaldaten, Beschäftigungsdaten und vorhandenen Messwerten zur Strahlenbelastung ergab, dass die vorliegenden Dokumentationen umfangreich und zur Ermittlung der persönlichen Strahlenbelastung ausreichend erschienen. Das BfS hat deshalb entschieden, dass eine zusätzliche Befragung aller 700 früherer und derzeitiger Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen zu den jeweiligen Beschäftigungshistorien weder notwendig noch sinnvoll ist. Es wurde als ausreichend befunden, eine ausgewählte Gruppe von Beschäftigten zu früheren Arbeitsabläufen und Strahlenschutzregimes zu befragen, um mit Hilfe der Aussagen die vom Betreiber HMGU dokumentierten Daten, soweit retrospektiv möglich auf Vollständigkeit und Richtigkeit zu prüfen.

Eine andere Frage betraf die Erfassung von Krebserkrankungen. Theoretisch stehen zwei Möglichkeiten der Erfassung von Krebserkrankungen zur Verfügung, nämlich eine aktive Erfassung über persönliche Befragung der jeweiligen Personen oder eine passive Erfassung

durch Abgleich mit bestehenden Krebsregistern. Zwingende Voraussetzung für eine verzerrungsfreie Risikoschätzung wäre eine vollständige und valide Erfassung aller Krebserkrankungsfälle in dem betrachteten Zeitraum 1967 bis 2008 und ein daran anschließendes Follow-up, d.h. die regelmäßige Nacherfassung von Erkrankungsfällen, da bei Krebserkrankungen zwischen einer möglicherweise verursachenden Belastung und dem Ausbruch der Erkrankung Jahrzehnte vergehen können. Das Niedersächsische Krebsregisters weist erst seit ca. 2002 eine vollständige Erfassung der Krebserkrankungen auf. Für Zeiten davor liegen keine oder unvollständige Erfassungen vor. Die andere prinzipielle Möglichkeit wäre es, alle ehemaligen und jetzigen Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen der Asse GmbH sowie im Falle des Todes deren Angehörige zu kontaktieren und bezüglich einer früheren Krebserkrankung zu befragen. Erfahrungsgemäß besteht die Tendenz, dass Krebserkrankte eher an solchen Studien teilnehmen als nicht an Krebserkrankte Personen. Ein solches Verhalten führt zu einer verzerrten Risikoabschätzung.

Neben der Frage wie und ob die Krebsfälle vollständig erfasst werden könnten, war die Frage, ob es datenschutzrechtlich zulässig und vor allem methodisch sinnvoll ist, die Krebsfälle zu erfassen. Krebserkrankungen treten in der Allgemeinbevölkerung relativ häufig auf. So erkranken ca. 38% der Frauen und 47% der Männer im Laufe ihres Lebens an Krebs /RKI 10/, die große Mehrheit allerdings in einem Alter deutlich über 60 Jahre. Etwa die Hälfte dieser Erkrankten verstirbt an der Krebserkrankung. Da die Gruppe der bei der Schachtanlage Asse beschäftigten Personen sehr klein und zum Teil sehr jung ist, muss in der Gruppe der Asse-Beschäftigten insgesamt mit bisher wenig aufgetretenen Krebsfällen und großen Zufallsschwankungen gerechnet werden. Dadurch ist ein rechnerischer Nachweis von möglicherweise *zusätzlich* strahlenbedingt aufgetretenen Krebserkrankungen in dieser Gruppe praktisch nicht möglich.

Dies lässt sich wie folgt illustrieren: Rein statistisch gesehen ist zu erwarten, dass in einer Gruppe von 1000 Personen etwa 400 bis 500 im Laufe ihres Lebens an Krebs erkranken. Darunter sind etwa 20 bis 30 Leukämieerkrankungen. Diese Zahl von Erkrankungen tritt ohne die hier betrachtete Strahlenbelastung, d.h. spontan auf. Würde diese Gruppe von 1.000 Personen einer Strahlenbelastung von 100 mSv ausgesetzt, würde man etwa zehn zusätzliche strahlenbedingte Krebsfälle erwarten, darunter eine Leukämieerkrankung. Bei einer Strahlenbelastung von 10 mSv wäre etwa eine zusätzliche strahlenbedingte Krebserkrankung zu erwarten. Da wissenschaftlich nicht nachweisbar ist, ob eine bestimmte Krebserkrankung ihre Ursache in einer Strahlenexposition hat, d.h. Strahlung hinterlässt keinen „Fingerabdruck“ in den geschädigten Zellen, die zu einer Krebserkrankung entarten, sind diese statistisch zusätzlich zu erwartenden zehn Fälle bei 100 mSv und 1 Fall bei 10 mSv nicht zu unterscheiden von Fällen, die spontan auftreten. Um eine derartige Unterscheidung vornehmen zu können, wäre aufgrund der Notwendigkeit, dies mit Hilfe statistischer Verfahren nachweisen zu müssen, eine erheblich größere Gesamtpersonengruppe erforderlich.

Da für die Beschäftigten insgesamt und jeden Einzelnen somit kein zusätzlicher Informationsgewinn durch die Erfassung der Krebserkrankungen erzielt werden kann, sprechen Gründe des Datenschutzes gegen diese Vorgehensweise. Aus diesen methodischen und datenschutzrechtlichen Gründen, hat sich das BfS gegen die Erfassung von Krebserkrankungen bei den Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen der Asse GmbH entschieden. Eine Bewertung des Strahlenrisikos ist aber auch ohne die Erfassung von Erkrankungen möglich. Aus einer Vielzahl von Studien liegen hinreichende wissenschaftliche Erkenntnisse vor, die es bei Kenntnis der individuellen Strahlenbelastung erlauben, das entsprechende individuelle Gesundheitsrisiko zu beurteilen.

Das GM Asse besteht aus zwei Teilen. Im ersten Teil wurde rückblickend das Ausmaß der Strahlenbelastung möglichst vollständig erfasst und dokumentiert, der die Beschäftigten bei ihren Tätigkeiten auf der Schachanlage Asse II zwischen 1967 und 2008 ausgesetzt waren. Dies ist der Inhalt des hier vorliegenden Berichts.

Im zweiten Schritt werden alle ehemaligen und derzeitigen Beschäftigten von der Asse GmbH, der vom BfS beauftragten Betriebsführerin des Endlagers Asse, angeschrieben und über das nun vorliegende Ergebnis des ersten Teils des Gesundheitsmonitorings Asse informiert. Jeder/Jedem Beschäftigten wird in diesem zweiten Schritt das Angebot gemacht, auf Anfrage ihre/seine persönliche Strahlendosis mitgeteilt zu bekommen. Das damit verbundene Gesundheitsrisiko wird bewertet und erläutert.

In das GM Asse wurden alle Personen aufgenommen, die jemals zwischen 1967 und 2008 unter Tage bei der Schachanlage Asse II beschäftigt waren. Einbezogen wurden auch - soweit recherchierbar - Beschäftigte von Fremdfirmen und von wissenschaftlichen Institutionen, die für wissenschaftliche Untersuchungen in der Schachanlage Asse II tätig waren, sowie Personen, die während der Einlagerungszeit über Tage mit den radioaktiven Abfällen umgegangen sind.

Um die Strahlenbelastung der Beschäftigten zu ermitteln, wurden verfügbare Messdaten – in Papier oder elektronischer Form - vor Ort gesichtet, auf Ihre Verwendbarkeit geprüft, rückwirkend elektronisch erfasst und validiert. Dies betraf Daten der amtlichen und betrieblichen Personendosimetrie, der Raumluftüberwachung und der Inkorporationsüberwachung. Zudem wurden Informationen über Beschäftigungszeiten und ggf. Tätigkeiten der einzelnen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter gesammelt, um die damit möglicherweise verbundene individuelle Strahlenbelastung zu ermitteln. Besonderes Augenmerk wurde auf Betriebsstörungen und Unfälle gelegt, die möglicherweise zu Kontaminationen von Beschäftigten geführt haben könnten und auf den Umgang mit kontaminierten Salzlösungen in der Schachanlage Asse II. Parallel dazu wurden einige ehemalige und derzeitige Beschäftigte vom BfS zu den früheren Arbeitsabläufen und Strahlenschutzvorkehrungen im Detail befragt.

Mit den Ergebnissen des GM Asse will das BfS derzeit und ehemals beschäftigte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Schachanlage Asse II umfassend über die beruflich bedingte Strahlenbelastung in der Schachanlage Asse II vom Beginn der Einlagerung im Jahr 1967 bis zum Betreiberwechsel ende 2008 informieren. Alle Beschäftigten der Schachanlage können nach Abschluss des GM Asse auf Anfrage ihre persönlichen Daten zur Strahlenbelastung und die Ergebnisse der darauf aufbauenden Bewertung des individuellen Gesundheitsrisikos vom BfS erhalten. Die gewonnenen Erkenntnisse können von jedem Beschäftigten in berufsgenossenschaftlichen Verfahren zur Anerkennung von Berufskrankheiten verwendet werden. Auch Beschäftigten von Fremdfirmen, die bislang noch nicht berücksichtigt werden konnten, da keine personenbezogenen Informationen beim Betreiber der Schachanlage Asse II ermittelbar waren, können bei Nachweis einer Beschäftigung in der Schachanlage Asse II jederzeit eine individuelle Auskunft zur beruflich bedingten Strahlenexposition erhalten.

2. HINTERGRUND

2.1 Die Schachtanlage Asse II

Das ehemalige Salzbergwerk Asse II liegt 18 km südöstlich von Braunschweig, im Landkreis Wolfenbüttel nahe der Gemeinde Remlingen. Im Jahr 1909 wurde mit dem Abbau von Kalisalz begonnen. 1925 wurde die Förderung aus wirtschaftlichen Gründen eingestellt. Die bei der Produktion von Kalidünger angefallenen feuchten Rückstände wurden in das Bergwerk zurückgebracht, um die Rückstände zu entsorgen und die Kaliabbaukammern damit wieder zu verfüllen. 1916 begann der Abbau von Steinsalz in der Südflanke. Der Steinsalzabbau erfolgte von der 750-Meter-Sohle bis zur 490-Meter-Sohle aufwärts. Auf diese Weise entstanden bis 1964 auf 13 Sohlen 131 Abbaukammern. Diese blieben unverfüllt. Am 31.03.1964 wurde die Salzförderung eingestellt, da der Abbau nicht mehr wirtschaftlich war.

Im Jahr 1965 beauftragte das Bundesministerium für wissenschaftliche Forschung und Technologie (heute: Bundesministerium für Bildung und Forschung) die Gesellschaft für Strahlenforschung (heute: Helmholtz Zentrum München) damit, in der stillgelegten Schachtanlage die Endlagerung radioaktiver Abfälle zu erforschen. Nach entsprechenden Umbaubauten begann im April 1967 die Einlagerung radioaktiver Abfälle.

Von 1971 an stand die Entsorgung des Großteils der schwach- und mittelradioaktiven Abfälle der Bundesrepublik Deutschland im Vordergrund der Endlagerung in die Schachtanlage Asse II. Bis 1978 wurden 125.787 Gebinde mit schwach- und mittelradioaktiven Abfällen eingelagert. Der schwachradioaktive Abfall wurde in insgesamt zwölf Abbaukammern gebracht: Zehn befinden sich in der Südflanke der Schachtanlage Asse II in 750 Metern Tiefe und zwei im Zentralteil in 750 und 725 Metern Tiefe. In einer weiteren Kammer in 511 Meter Tiefe lagern mittelradioaktive Abfälle. Dort lagern 1301 (1.293 MAW + 8 LAW) Abfallgebände. Die Abfälle stammen aus dem Betrieb, der Stilllegung und dem Abbau kerntechnischer Einrichtungen, der versuchsweisen Wiederaufarbeitung sowie aus der Verwendung von radioaktiven Stoffen in Forschung, Industrie und Medizin.

Die erteilten strahlenschutzrechtlichen Genehmigungen für die Einlagerung radioaktiver Abfälle in die Schachtanlage Asse II waren befristet und endeten am 31.12.1978, nachdem 1976 das Atomgesetz geändert worden war. Die 4. Novelle des Atomgesetzes von 1976 sah bei der grundsätzlichen Neuregelung für die noch zu errichtenden Anlagen des Bundes zur Endlagerung keine Übergangsregelung für die Schachtanlage Asse II vor. Als Voraussetzung für eine weitere Endlagerung radioaktiver Abfälle war nun ein atomrechtliches Planfeststellungsverfahren vorgeschrieben. Rechtsgrundlage für den Betrieb der Schachtanlage Asse II blieb jedoch weiterhin das Bergrecht. Ein Stilllegungskonzept für die Zeit nach der Einlagerung gab es damals nicht. Nach heutigem Recht ist ein Stilllegungskonzept mit Langzeitsicherheitsnachweis die wesentliche Voraussetzung für eine atomrechtliche Genehmigung eines Endlagers.

Am 5.11.2008 beschloss die Bundesregierung, die bis dahin nach Bergrecht geführte Schachtanlage Asse II in den Geltungsbereich des Atomrechts überzuleiten und künftig als Endlager für radioaktive Abfälle nach § 9a Atomgesetz zu führen. Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), das für die Endlagerung radioaktiver Abfälle zuständig ist, hat deshalb die Betreiberschaft der Anlage zum 1. Januar 2009 vom Helmholtz Zentrum München übernommen. Zur Erfüllung seiner Betreiberpflichten bedient sich das BfS eines Verwaltungshelfers, der eigens hierfür gegründet und zu 100% im Eigentum des Bundes stehenden „Asse

GmbH“, Gesellschaft für Betriebsführung und Schließung der Schachanlage Asse II. Die Asse GmbH ist für die Betriebsführung der Anlage nach Maßgabe der Vorgaben des BfS zuständig.

2.2 Umgang mit radioaktiven Stoffen in der Schachanlage Asse II

Einlagerungsphase (1967-1978)

Zwischen April 1967 und Dezember 1978 wurden auf der 750-m und 725-m-Sohle schwach und zum Teil mittelradioaktive Abfälle in VBA eingelagert (siehe Abbildung 2.2.1). Zunächst waren die Annahmebedingungen der Schachanlage Asse II in den Genehmigungen der Genehmigungsbehörde, hier dem Bergamt festgelegt. Der Inhalt der Gebinde durfte weder gär- und faulfähig sein, noch heftige chemische Reaktionen erwarten lassen, noch eine Korrosion von innen her bewirken. 1971 und 1975 wurden Annahmebedingungen der Schachanlage Asse II für schwachradioaktive Abfälle durch den Betreiber HGMU aufgestellt, mit dem Genehmigungsantrag bei der Genehmigungsbehörde eingereicht und von dieser in die Einlagerungsgenehmigung aufgenommen. In diesen Annahmebedingungen wurden u.a. die Anforderungen an die Konditionierung und die Art der Verpackung sowie die davon abhängigen Aktivitätsgrenzwerte geregelt. Angaben über den Inhalt von Abfallgebindechargen und die äußere Form der Gebinde waren zu Beginn in Fragebögen und in späteren Einlagerungsphasen in Begleitlisten der Einlagerungsbedingungen zu machen. Diese waren vor dem Transport der Abfälle an die Schachanlage Asse II zu senden.

Die schwachradioaktiven Abfälle wurden zumeist über die Bahn in Containern bis zum Bahnhof Wendessen und von dort per LKW zur Schachanlage Asse angeliefert oder auch direkt per LKW transportiert. Die Abfallgebinde wurden auf der Schachanlage Asse II mittels Gabelstapler (Fässer) bzw. Kran (Verlorene Betonabschirmungen (VBA)) vom Anlieferfahrzeug abgeladen und auf markierten Flächen in der Schachthalle in Schachtnähe vorübergehend abgestellt. Die Eingangskontrolle erstreckte sich auf die Überprüfung der Gebinde auf Beschädigungen, der Oberflächenkontaminationen und der Dosisleistung sowie dem Vergleich mit den Angaben auf den Fragebögen und Begleitlisten. Die Übereinstimmung des Inhalts der Abfallgebinde mit der Abfalldokumentation wurde nicht überprüft.

Im Schacht 2 wurden die LAW-Gebinde zur 750-m-Sohle befördert, mit einem Gabelstapler dem Förderkorb entnommen und vorübergehend in einem markierten Bereich des Füllorts abgesetzt. Mit Hilfe eines Gabelstaplers und später auch Frontschaufellader erfolgte der Transport vom Füllort zu den LAW-Einlagerungskammern über geplante Fahrbahnen auf der jeweils kürzesten Verbindung. Alle Einlagerungskammern wurden mit Sonderbewetterung ausgestattet.

Zu Beginn der Versuchseinlagerung wurden die Fässer senkrecht aufeinander stehend in den LAW-Kammern gestapelt. 1969 ging man zur horizontal (liegend) Stapeltechnik über. Da diese Stapeltechniken zeitintensiv und im Hinblick auf die Strahlenexposition des Einlagerungspersonals nach Einschätzung des damaligen Betreibers und der Genehmigungsbehörde nicht optimal waren, wurde 1972 die Abkipptechnik eingeführt, d.h. die Fässer wurden aus der Frontschaufel eines Laders über eine Salzböschung abgekippt und anschließend mit

schieber versehene Bohrung. Die Luft aus der Einlagerungskammer wurde ständig über eine Abluftanlage abgesaugt und gefiltert.

Die 200-l-Abfallfässer mit MAW-Abfällen wurden per LKW zunächst in Einzeltransporten oder später in Sammeltransportbehältern zur Schachtanlage transportiert. Die im Sammeltransportbehälter angelieferten Abfallfässer mussten in der Schachthalle in einem dafür abgegrenzten Bereich zunächst jeweils in einen Einzeltransportbehälter umgeladen werden. Dazu wurde der Einzeltransportbehälter auf eine Entladeposition des Sammeltransportbehälters aufgesetzt, die Schieber bei beiden Behältern gleichzeitig geöffnet, das MAW-Fass in den Einzeltransportbehälter gezogen und anschließend die Schieber wieder geschlossen. Die Behälter für den Antransport der MAW-Abfallfässer und der Einzeltransportbehälter hatten eine Abschirmfunktion, so dass die MAW-Fässer innerhalb der Anlage entsprechend den Anforderungen der jeweils geltenden Strahlenschutzbestimmungen gehandhabt werden konnten.

Die Einzeltransportbehälter wurden mit einem Gabelstapler auf den Förderkorb gestellt und zur 490-m-Sohle gebracht. Dort wurde der Behälter mit einem Auslegerkran aus dem Förderkorb gehoben und auf ein Streckentransportfahrzeug abgesetzt. Der Transport erfolgte auf planierten Fahrbahnen bis unter die Krananlage in der MAW-Beschickungskammer 8a auf der 490-m-Sohle. Nach dem Aufsetzen des Abschirmbehälters auf den Strahlenschutzschieber der MAW-Beschickungsvorrichtung wurde der verschiebbare Behälterboden zusammen mit dem Strahlenschutzschieber geöffnet und das Abfallfass wurde mit einem Kran in die darunter befindliche MAW-Einlagerungskammer 8a auf der 511-m-Sohle abgelassen und das Abfallfass nach dem Aufsetzen auf den Abfallkegel entkoppelt. Durch dieses Verfahren war die Strahlenabschirmung während des gesamten Vorgangs gewährleistet.

Während der ersten Einlagerungskampagnen wurden die LAW-Abfallgebinde bei der Anlieferung mittels Wischtests auf radioaktive Kontaminationen überprüft. In der LAW-Kammer 4 auf der 750-m-Sohle wurden weitere Wischtests an den gestapelten Abfallfässern vorgenommen. Als wirkungsvoller zur Überprüfung der nicht fest haftenden radioaktiven Kontaminationen an den Oberflächen der Abfallbehälter erwies sich später nach Einschätzung des damaligen Betreibers das Ausmessen der entladenen Transportfahrzeuge und der Flächen, auf denen die Behälter vorübergehend abgestellt waren. Dabei wurden fahrbare Fußbodenmonitore eingesetzt. Die Stellflächen für die Abfallgebinde waren deutlich markiert, um ein unnötiges Betreten zu vermeiden.

Nach Ende jeder Schicht mit Einlagerungsbetrieb wurden alle Bereiche, in denen radioaktive Abfälle gehandhabt worden waren (z.B. Abstellflächen, Förderkorb), auf Kontaminationen ausgemessen sowie alle anschließend für andere Arbeiten benötigten Fahrzeuge und Geräte auf Kontaminationen überprüft. Lediglich Geräte, die ausschließlich für den Abfalltransport bestimmt waren, wurden als kontaminiert gekennzeichnet und in abgesperrten Bereichen abgelegt. Wenn im Füllortbereich und an den Fahrzeugen keine Kontaminationen festgestellt wurden, wurde in der Regel auf die Ausmessung der Fahrwege verzichtet. Abgesehen von den anfänglichen Wischproben in Kammer 4 auf der 750-m-Sohle wurden in den LAW-Einlagerungskammern wegen der vorhandenen Direktstrahlung keine Kontaminationskontrollen durchgeführt.

Kontaminationsereignisse wurden in der Betriebsdokumentation festgehalten. Eine Übersicht und Bewertung der festgestellten Kontaminationen findet sich in Kapitel 5.7. Ein großer Teil der Kontaminationen wurde über Tage beim Ausmessen der Transportbehälter, der externen

Fahrzeuge, des Schachthallenbodens und der Fassklammern des Gabelstaplers festgestellt. Unter Tage kam es überwiegend am Füllort der 750-m-Sohle durch abtropfendes Tau- oder Kondenswasser oder durch Flüssigkeiten, die aus den Abfallgebinden austraten, zu Kontaminationen der Stellflächen, wo die Abfallgebände vorübergehend abgestellt waren. Sofern nicht versiegelte Stellflächen oder Fahrbahnen betroffen waren, wurden die betreffenden Oberflächen abgetragen und bei Bedarf z.B. mit Salzbeton erneuert.

Nacheinlagerungsphase (1979-2008)

Nach dem 31.12.1978 war eine Verwendung radioaktiver Stoffe und Strahlenquellen im Rahmen von Forschungsarbeiten, zur Kalibrierung von Strahlenschutzmessgeräten oder zur Unterweisung der Grubenwehr nur zulässig, wenn dafür eine Umgangsgenehmigung nach §3 der damaligen Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) vorlag und die Rückholbarkeit der radioaktiven Stoffe gewährleistet war.

Von April bis Oktober 1980 fand eine Umlagerung von schwachradioaktiven Abfällen statt. Hintergrund hierfür war, dass in den letzten Wochen vor Auslaufen der Genehmigung zur LAW-Einlagerung am 31.12.1978 die angelieferte Abfallmenge so groß war, dass eine planmäßige Einlagerung bis zu diesem Termin nicht möglich war. Deshalb wurden die Abfallgebände (insgesamt 1.711 Fässer) zunächst vorübergehend auf freien Flächen in den LAW-Einlagerungskammern 7 auf der 750-m-Sohle und 10 auf der 750-m-Sohle abgelegt. Diese wurden dann von April bis Oktober 1980 chargenweise in die LAW-Einlagerungskammern 6 auf der 750-m-Sohle und 2(Na2) auf der 750-m-Sohle transportiert und dort eingelagert.

Von Dezember 1983 bis November 1985 fanden im sogenannten Laugenmigrationsfeld auf der 800-m-Sohle Versuche statt. Dabei wurden vier Kannen mit fest umschlossenen Co-60-Quellen mit einem Gesamtinventar radioaktiver Stoffe von $1,3 \cdot 10^{15}$ Bq in Abschirmbehältern angeliefert und in zwei verrohrte Bohrlöcher abgesenkt. Die Quellen wurden nach Abschluss der Versuche nach Auskunft des Betreibers HMGU wieder aus der Schachanlage Asse II entfernt.

Im sog. „Streckenkreuz“ auf der 490-m-Sohle, in dem während der Einlagerungszeit ein Vorversuch mit radium- und tritiumhaltigen Abfällen stattfand, wurde 1979 der abgeschlossene Funktionsraum „Auslaugversuchsfeld“ eingerichtet. Dort wurden Versuche zur Ermittlung des Auslaugverhaltens verfestigter, mit Radionukliden dotierter zementierter Probekörper durchgeführt. Diese enthielten Cäsium, Uran und Neptunium. In regelmäßigen Abständen wurden Proben des Auslaugmediums genommen und im überörtlichen Messlabor oder extern ausgemessen. Die anfallenden radioaktiven und potenziell kontaminierten Betriebsabfälle wurden vor Ort in Beutel verpackt, im Auslaugversuchsfeld zwischengelagert und in den Tiefenaufschluss verbracht. Im Juni 2008 wurde diese Verbringung in Ermangelung einer Umgangsgenehmigung vom NMU (Niedersächsisches Ministerium für Umwelt) untersagt.

Zur Durchführung verschiedener Prüfungen und wissenschaftlicher Untersuchungen sowie zur Unterweisung der Grubenwehr wurden jeweils zeitlich begrenzt umschlossene Strahlenquellen verwendet.

Salzlösungen

In Salzbergwerken werden typischerweise Salzlösungen unterschiedlicher Zusammensetzung angetroffen, die bergmännisch als Laugen bezeichnet werden. In der Schachanlage

Asse II hatte es beim Abteufen der Schächte und auch danach mehrere Salzlösungszutritte kleineren Umfangs gegeben. Diese wurden in die Unterwerksbaue unterhalb der 750-m-Sohle gepumpt. In der Betriebsdokumentation des Betreibers HMGU gibt es keine Hinweise darauf, dass während der Einlagerungszeit Kontaminationen in Salzlösungen aufgetreten sind. In der Nacheinlagerungszeit sind größere Mengen an Zutrittslösungen angefallen. Seit 1988 wurden in der Südflanke Zutritte von Salzlösungen aus dem Deckgebirge festgestellt. Diese wurden beprobt und auf radioaktive Stoffe untersucht. Diese Laugen waren ursprünglich nicht kontaminiert, wiesen aber geringe Kontaminationen mit Tritium auf, wenn die Laugen längere Zeit unter Tage verblieben und sich Tritium aus der Grubenluft in den Laugen anreichern konnte. Durch das heute angewandte Verfahren ist die Anreicherung auf ein Minimum reduziert worden. Im Bereich der Einlagerungskammern finden sich zum Teil überwiegend mit Cäsium-137 (Cs-137) und Tritium (H-3) kontaminierte Salzlösungen. Eine Übersicht und Bewertung dieser Salzlösungen findet sich in Kapitel 5.6 und 8.3.

2.3 Strahlenschutz bei der Schachanlage Asse II

Strahlenschutzbereiche

Nach der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) /STR 01/ sind Strahlenschutzbereiche unterteilt in Überwachungsbereiche, Kontrollbereiche und Sperrbereiche als Teil von Kontrollbereichen. Die jeweilige Abgrenzung ergibt sich aus der in den Bereichen zu erwartenden Strahlenexposition der Beschäftigten. Wie in § 36 der StrlSchV /STR 01/ festgelegt, sind Überwachungsbereiche nicht zum Kontrollbereich gehörende betriebliche Bereiche, in denen Personen im Kalenderjahr eine effektive Dosis von mehr als 1 mSv erhalten können. Kontrollbereiche sind Bereiche, in denen im Kalenderjahr eine effektive Dosis von mehr als 6 mSv auftreten kann und Sperrbereiche solche, in denen die Ortsdosisleistung höher als 3 mSv in der Stunde sein kann. Kontrollbereiche und Sperrbereiche sind abzugrenzen und deutlich sichtbar und dauerhaft als solche zu kennzeichnen.

Die effektive Dosis ist ein Maß für die Strahlenexposition der Beschäftigten und umfasst alle Dosisbeiträge durch äußere und innere Strahlenexposition. Sie wird gebildet als Summe der gewichteten Organdosen. Die Wichtung (Gewebewichtungsfaktor) erfolgt nach der Strahlenempfindlichkeit der Organe und Gewebe. Die Organdosis ist das Produkt aus der mittleren Energiedosis in einem Organ und dem Strahlenwichtungsfaktor. Über den Strahlenwichtungsfaktor wird die unterschiedliche biologische Wirksamkeit der unterschiedlichen Strahlenarten unter anderen Gamma-, Alpha- und Beta-Strahlung berücksichtigt. Die anzuwendenden Wichtungsfaktoren und eine genaue Definition der Dosisbegriffe sind der StrlSchV und ihren Anlagen zu entnehmen. Die Einheit der effektiven Dosis ist das Sievert (Sv). Im weiteren Verlauf des Berichts wird die effektive Dosis häufig in Bruchteilen der Einheit Sievert angegeben, nämlich als 1 Millisievert (1 mSv = 1/1.000 Sv), 1 Mikrosievert (1 μ Sv = 1/1.000.000 Sv) oder 1 Nanosievert (1 nSv = 1/1.000.000.000 Sv).

Alle Bereiche, in denen während der Einlagerungsphase radioaktive Abfälle gehandhabt oder transportiert wurden (Schachthalle, Schacht 2, Füllorte, Transportstrecken unter Tage sowie die LAW-Einlagerungskammern) wurden nach Angaben des früheren Betreibers HMGU vorübergehend zu Kontrollbereichen erklärt. Die Schachthalle wurde durch blinkende Warnzeichen an den Toren als Kontrollbereich gekennzeichnet. Kontrollbereiche, in denen sich keine Abfallbehälter mehr befanden und die auf mögliche Kontaminationen überprüft waren, wurden aufgehoben und als betriebliche Überwachungsbereiche für den normalen

Grubenbetrieb wieder freigegeben. Nach Informationen des Strahlenschutzbeauftragten des Betreibers HGMU wurden in der Einlagerungsphase im Mittel 25 Kontaminationen pro Jahr festgestellt (siehe auch Kapitel 5.7). Die LAW-Einlagerungskammern blieben Kontrollbereiche solange sie noch zugänglich waren. Sie wurden durch Ketten abgesperrt und als Kontrollbereiche gekennzeichnet. Die nicht betretbare MAW-Einlagerungskammer 8a auf der 511m-Sohle ist seit der MAW-Einlagerung Sperrbereich.

Nach Strahlenschutzanweisungen des Betreibers HGMU war jeder mit der Einlagerung beschäftigte Belegschaftsangehörige verpflichtet, durch Messungen zu Beginn und Ende der Schicht festzustellen, ob er während der Arbeit kontaminiert worden ist. Anfangs wurden dazu tragbare Großflächenzähler verwendet, ab etwa 1970 stationäre Hand-Fuß-Kleider-Monitore. Nach der Freigabe der zeitweiligen Kontrollbereiche war ein Ausmessen von Personen nur erforderlich, wenn diese die LAW-Einlagerungskammern betreten hatten.

Ab dem 01.01.1979 gab es über Tage dauerhaft keine Kontrollbereiche mehr, da keine radioaktiven Abfälle mehr angeliefert und gehandhabt wurden. Innerhalb der LAW-Einlagerungskammern 5 auf der 750-m-Sohle und 7(Na2) auf der 725-m-Sohle, die zur Demonstration für Besucherführungen offen gehalten wurden, waren Kontrollbereiche durch Ketten abgesperrt. Ab Januar 2008 durften die Einlagerungskammern aus arbeitssicherheitsrechtlichen Gründen nicht mehr betreten werden und die Zugänge zu den Einlagerungskammern wurden durch Tore verschlossen.

Das Laugenmigrationsfeld auf der 800-m-Sohle war während der gesamten 2-jährigen Versuchsdauer (1983-1985) Kontrollbereich. Der Funktionsraum „Auslaugversuchsfeld“ auf der 490-m-Sohle war ebenfalls ständiger Kontrollbereich. Während der Umlagerung der LAW-Abfälle wurden die Kontrollbereiche der LAW-Einlagerungskammern auf die dazu benutzten Transportstrecken erweitert. Nach der Umlagerung wurden die Transportstrecken auf Kontaminationen geprüft und die Kontrollbereiche aufgehoben.

Salzlösungen im Grubengebäude wurden nach Auskunft der Strahlenschutzbeauftragten des Betreibers regelmäßig beprobt und auf ihren Gehalt an radioaktiven Stoffen untersucht. Bereiche mit kontaminierten Salzlösungen wurden als Kontrollbereiche abgesperrt und Sohllöcher in den Fahrbahnen mit Stahlplatten abgedeckt.

Strahlenschutzüberwachung

In der Einlagerungsphase bis 1978 wurden alle unter Tage beschäftigten Personen dosimetrisch mittels persönlicher Filmdosimeter überwacht. Filmdosimeter zeichnen die externe Strahlenexposition auf, hier vorwiegend durch Gammastrahlung. Zusätzlich trug das Einlagerungspersonal jederzeit ablesbare Füllhalterdosimeter. Ab 1978 war das ständige Tragen von Dosimetern außerhalb der Kontrollbereiche nach Auffassung des Betreibers und ab 1985 der Genehmigungsbehörde grundsätzlich nicht mehr erforderlich. Nur Personen des Strahlenschutzes, der Öffentlichkeitsarbeit und Aufsichten waren zum ständigen Tragen der Filmdosimeter verpflichtet, um jederzeit, auch kurzfristig, den Zutritt zu Kontrollbereichen zu ermöglichen. Für alle Arbeiten in Kontrollbereichen bestand auch nach 1978 bzw. 1985 Tragpflicht eines Filmdosimeters.

Seit 1972 wurden alle unter Tage beschäftigten Personen alle zwei Jahre bzw. ab 1977 einmal jährlich in einem Ganzkörperzähler auf inkorporierte Radionuklide (sog. Inkorporationsüberwachung) untersucht.

An allen wichtigen Betriebspunkten wurde die Gamma-Dosisleistung in regelmäßigen Abständen stichprobenartig kontrolliert. Seit 1975 werden Messungen der akkumulierten Strahlendosis mit Thermolumineszenz-Dosimetern (TLD) am Zaun, auf dem Betriebsgelände und im Grubengebäude der Schachanlage Asse II durchgeführt. Diese wurden ab 1977 um weitere Messorte über Tage und im Grubengebäude erweitert.

Abluftmessungen (Emissionsmessungen) fanden seit 1971 für Gesamtalpha- und Gesamt-beta-Aktivität sowie ab 1977 für Gamma-Aktivität und verschiedene Nuklidaktivitäten statt. In der Grubenluft wurden seit 1969 Messungen von Luftstaub, ab 1972 Tritiummessungen und ab 1989 Radonmessungen durchgeführt.

Ab 1988 wurden regelmäßig Salzlösungen beprobt. Hierzu wurden die Gammaaktivitätsmessungen sowie Messungen der Tritium-Aktivität im Destillat für verschiedene Messorte durchgeführt.

Nach Auskunft des früheren Betreibers erhielten alle beruflich strahlenexponierten Mitarbeiter mit Dienstsitz auf der Schachanlage Asse II oder Personen, die aufgrund ihrer Tätigkeiten Kontrollbereiche betreten mussten, mindestens einmal jährlich eine Strahlenschutzbelehrung, meist im Zusammenhang mit der Personalversammlung. Hierin wurde jeder über die Tragepflicht von Dosimetern in Kontrollbereichen und weiteren Verhaltensweisen aufgeklärt. Jeder Beschäftigte musste die Teilnahme an der Strahlenschutzunterweisung durch Unterschrift bestätigen.

3. DATENSCHUTZ

Zur Ermittlung der Strahlenexpositionen der Beschäftigten der Schachanlage Asse II waren personenbezogene Daten der Beschäftigten zu sichten und zu bearbeiten. Die Projektgruppe GM Asse hat zur Wahrung des Datenschutzes vor Aufnahme der Arbeiten ein Datenschutzkonzept erarbeitet und dieses der Datenschutzbeauftragten des BfS vorgelegt. Weiterhin wurde das Datenschutzkonzept dem Bundesbeauftragten für den Datenschutz und die Informationsfreiheit (BfDI) zur Prüfung übersandt. Der BfDI hat mitgeteilt, dass keine Bedenken gegen das Datenschutzkonzept des GM Asse bestehen. Einzelheiten des Datenschutzkonzepts des GM Asse sind Anhang 1 zu entnehmen.

4. PERSONAL- UND BESCHÄFTIGUNGSDATEN

4.1 Die vom „Gesundheitsmonitoring Asse“ erfassten Beschäftigten

Vom „Gesundheitsmonitoring Asse“ (GM Asse) werden alle zwischen April 1967 (Beginn der Einlagerung) und Dezember 2008 bei der Asse beschäftigten Personen erfasst, für die die Möglichkeit einer beruflich bedingten Strahlenexposition auf der Schachanlage Asse II nicht ausgeschlossen werden kann. Nur Personen, die sicher nie unter Tage waren und auch nicht über Tage exponiert worden sind (z.B. Verwaltungsangestellte, Pfortner, etc.) wurden nicht berücksichtigt.

Zur Definition der vom GM Asse erfassten Beschäftigten, kurz Beschäftigtengruppe GM Asse genannt, erstellte die Personalabteilung der Schachtanlage Asse II eine Personalliste. Dabei wurde auf Informationen der Personalabteilung des Betreibers HMGU zurückgegriffen. Diese Liste enthält zum einen alle Personen, von denen bekannt ist, dass sie zwischen 1965 (Betriebsbeginn) und 2008 auf der Schachtanlage Asse II angestellt waren. Zum anderen enthält die Liste auch Mitarbeiter von Fremdfirmen, die auf der Schachtanlage Asse II tätig waren und vom dortigen Strahlenschutz dosimetrisch überwacht wurden. Personen, von denen in der Personalabteilung bekannt ist, dass sie sicher weder unter Tage tätig waren noch über Tage mit radioaktiven Abfällen Umgang hatten, wurden in der Personalliste ausgewiesen und aus der Beschäftigtengruppe GM Asse ausgeschlossen.

Zusätzlich wurden Informationen über abgeleistete unter Tage-Schichten für den Zeitraum 1976 bis 2008 auf der Grundlage der von der Personalabteilung des Betreibers seit 1976 geführten sogenannten Kontrollliste erhoben und elektronisch erfasst (siehe Kapitel 4.2). Zum anderen wurde vom betrieblichen Strahlenschutz der Schachtanlage Asse II eine Liste der Personen erstellt, die zwischen 1967 und 2008 vom Strahlenschutz der Asse dosimetrisch überwacht worden sind. Dabei handelt es sich sowohl um Beschäftigte des Betreibers HMGU als auch um Mitarbeiter von Fremdfirmen.

Die oben erwähnte Personalliste wurde durch Abgleich mit der Strahlenschutzabteilung der Schachtanlage Asse II auf ihre Vollständigkeit geprüft und ergänzt. Anhand dieser Liste vergab die Treuhänderin des GM Asse beim BfS an jede Person eine 6-stellige Identifikationsnummer, so dass die Personalliste und die Datei mit den unter Tage-Schichten in pseudonymisierter Form, d.h. ohne Namensbezug, von der Personalabteilung der Schachtanlage Asse II an die Arbeitsgruppe „Epidemiologie“ des BfS weitergeleitet werden konnte. Die Daten wurden von der Arbeitsgruppe auf Plausibilität geprüft und auf Anforderung von Personal- bzw. Strahlenschutzabteilung der Schachtanlage Asse II überarbeitet und ergänzt.

Die Personalliste enthält Angaben zu ID-Nummer, Geschlecht, Geburtsjahr, Datum des Beschäftigungsbeginns und Beschäftigungsende (bei nach dem 31.12.2008 weiter beschäftigten Personen wurde das Ende auf den 31.12.2008 gesetzt), Beschäftigungsort (Standort Asse oder Braunschweig), die Angabe, ob die Person nach 1984 ständig unter Tage ein Dosimeter getragen hat (war verpflichtend für Mitarbeiter der Gruppen Strahlenschutz, Öffentlichkeitsarbeit und Aufsichtspersonal), die Angabe, ob die Person sicher nie unter Tage gearbeitet hat und eine Bemerkungsspalte. In dieser Spalte ist bei Mitarbeitern von Fremdfirmen angegeben, von welcher Firma sie kommen oder wenn diese nicht mehr feststellbar ist, dass sie Mitarbeiter einer Fremdfirma waren.

Die Datei der dosimetrisch überwachten Personen wurde vom betrieblichen Strahlenschutz der Schachtanlage Asse II an das Strahlenschutzregister des BfS übergeben und von dort in pseudonymisierter Form an die Projektgruppe GM Asse. Dort wurde sie auf Plausibilität geprüft. Unstimmigkeiten wurden mit der Betreibergesellschaft der Schachtanlage Asse II abgeklärt. Insbesondere wurde die Angabe, ob eine Person sicher nie unter Tage tätig war, mit den Angaben zu unter Tage-Schichten und zu dosimetrisch überwachten Personen abgeglichen.

Die Personalliste enthält 800 Personen. Davon sind 71 Personen Mitarbeiter von Fremdfirmen, die bei der Asse beschäftigt und dosimetrisch überwacht waren. Für diese Personen sind nur sehr spärliche Angaben vorhanden. Lediglich bei einer Person ist Geschlecht, Geburtsjahr, Beschäftigungsbeginn und -ende angegeben. Für alle anderen Mitarbeiter von

Fremdfirmen sind nur die Angabe der Firma bzw. die Angabe, dass es sich um den Mitarbeiter einer Fremdfirma handelt, vorhanden.

Von den restlichen 729 zum Eigenpersonal gehörenden Personen, wurde für 108 Personen angegeben, dass sie sicher nie unter Tage beschäftigt gewesen waren und auch sicher nie über Tage mit der Abfalleinlagerung zu tun gehabt hatten. Diese Gruppe wurde aus dem GM Asse ausgeschlossen. Der Großteil (83%) dieser Personen waren Frauen. Die restlichen zum Eigenpersonal der Schachtanlage Asse II gehörenden 621 Personen gliedern sich in zwei Gruppen auf:

- Personen, die dosimetrisch überwacht waren, inkorporationsüberwacht waren und/oder für die es Aufzeichnungen zu geleisteten unter Tage-Schichten gibt. Diese Personen werden als ‚sicher in der Beschäftigtengruppe GM Asse ‘ klassifiziert (n = 433).
- Personen, die nicht in irgendeiner Weise überwacht waren und für die auch keinerlei Aufzeichnungen zu abgeleisteten unter Tage-Schichten vorliegen. Diese Personen wurden zunächst als „unsicher in der Beschäftigtengruppe GM Asse“ klassifiziert (n = 188).

Da für die letztere Gruppe „unsicher in der Beschäftigtengruppe GM Asse“ aus den Unterlagen nicht mehr eindeutig festgestellt werden konnte, ob sie unter Tage beschäftigt waren oder nicht, wurde sie vorsorglich in die Beschäftigtengruppe GM Asse aufgenommen. Die Beschäftigtengruppe GM Asse besteht demzufolge aus 692 Personen, darunter 621 Personen Eigenpersonal und 71 Mitarbeiter von Fremdfirmen (siehe Tabelle 4.1.1).

Tab. 4.1.1: Definition der Beschäftigtengruppe GM Asse

	Anzahl	Einschluss in GM Asse
<i>Ausgangsgruppe „Personalliste“</i>	800	
Eigenpersonal	729	
„sicher nie unter Tage beschäftigt“	108	Nein
„unsicher, ob unter Tage beschäftigt“	188	Ja
„sicher unter Tage beschäftigt bzw. dosimetrisch und/oder inkorporationswacht“	433	Ja
Mitarbeiter von Fremdfirmen	71	Ja
Endgültige Beschäftigtengruppe GM Asse	692	

Tabelle 4.1.2 beschreibt die Beschäftigtengruppe GM Asse getrennt für Eigenpersonal und Mitarbeiter von Fremdfirmen. Zum Eigenpersonal gehören 45 Frauen. 546 Personen arbeiteten direkt bei der Schachtanlage Asse II, 75 Personen beim Institut für Tief Lagerung in Braunschweig. Bei Letzteren handelt es sich überwiegend um wissenschaftliches Personal, das zur Asse gehörte, jedoch aufgrund seiner Aufgaben nur gelegentlich in der Schachtanlage unter Tage tätig war. Die Pflicht auch nach 1984 unter Tage ständig (d. h. auch außerhalb von Kontrollbereichen) ein Dosimeter zu tragen (siehe Kapitel 5.1 Personendosimetrie) bestand für 67 Personen. Für 30% der Personen konnte nicht eindeutig geklärt werden, ob sie jemals unter Tage oder ausschließlich über Tage ohne direkten Kontakt zu den radioaktiven

Abfällen tätig waren. Vorsorglich wurden diese Personen in der Beschäftigtengruppe GM Asse mit berücksichtigt.

Von sechs Personen ist das Datum des Beschäftigungsbeginns unbekannt und von acht Personen das Datum des Beschäftigungsendes. Zum Ende des Monitoringzeitraums, dem 31.12.2008, waren noch 221 Personen (32%) bei der Schachanlage Asse II beschäftigt. 80% der Mitarbeiter nahmen ihre Beschäftigung erst nach Abschluss der Einlagerungsarbeiten auf. Von sieben Personen ist das Geburtsjahr unbekannt, die restlichen Geburtsjahre liegen zwischen 1905 und 1992 (siehe Tabelle 4.1.2). Mittlerweile befinden sich ca. 20% der Beschäftigten im Rentenalter.

Tab. 4.1.2: Beschreibung der Beschäftigtengruppe GM Asse

	Eigenpersonal		Mitarbeiter von Fremdfirmen	
	Anzahl	Anteil	Anteil	Anteil
Geschlecht				
Männer	576	93 %	k. A.	k. A.
Frauen	45	7 %	k. A.	k. A.
Beschäftigungsort				
Asse	546	88 %	0	0
Institut für Tieflagerung Braunschweig	75	12 %	0	0
Dosimeterpflicht unter Tage nach 1984				
Ja	67	11 %	Entfällt	Entfällt
Nein	554	89 %	Entfällt	Entfällt
Jemals unter Tage tätig				
Ja	433	70 %	71	100 %
Unbekannt	188	30 %	0	0 %
Beschäftigungsbeginn¹				
Vor 31.12.1978	121	20 %	62	87 %
Nach 31.12.1978	494	80 %	9	13 %
Unbekannt	6	1 %	0	0 %
Geburtsjahrgang				
1905 – 1930	32	5 %	-	-
1930 – 1940	58	9 %	-	-
1940 – 1950	89	14 %	-	-
1950 – 1960	154	25 %	-	-
1960 – 1970	136	22 %	-	-
1970 – 1980	84	14 %	-	-
1980 – 1992	61	10 %	-	-
Unbekannt	7	1 %	71	100%
Gesamt	621	100 %	71	100 %

¹ Bei Mitarbeitern von Fremdfirmen Beginn der dosimetrischen Überwachung.

Abbildung 4.1.1 zeigt die Anzahl der Beschäftigten in der Beschäftigtengruppe GM Asse während der einzelnen Kalenderjahre von 1967 bis 2008. In der Einlagerungsphase gehörten bis 1974 pro Jahr weniger als 50 Personen zu dieser Gruppe. Dann stieg die Zahl der Beschäftigten stark an bis auf mehr als 150 Personen in den 80iger und 90iger Jahren. Ab 1996 sank die jährliche Beschäftigtenzahl etwas, um dann Ende 2008 auf über 200 Personen zu steigen. Das dosimetrisch überwachte Personal von Fremdfirmen war vorwiegend in den letzten Jahren der Einlagerungsphase beschäftigt.

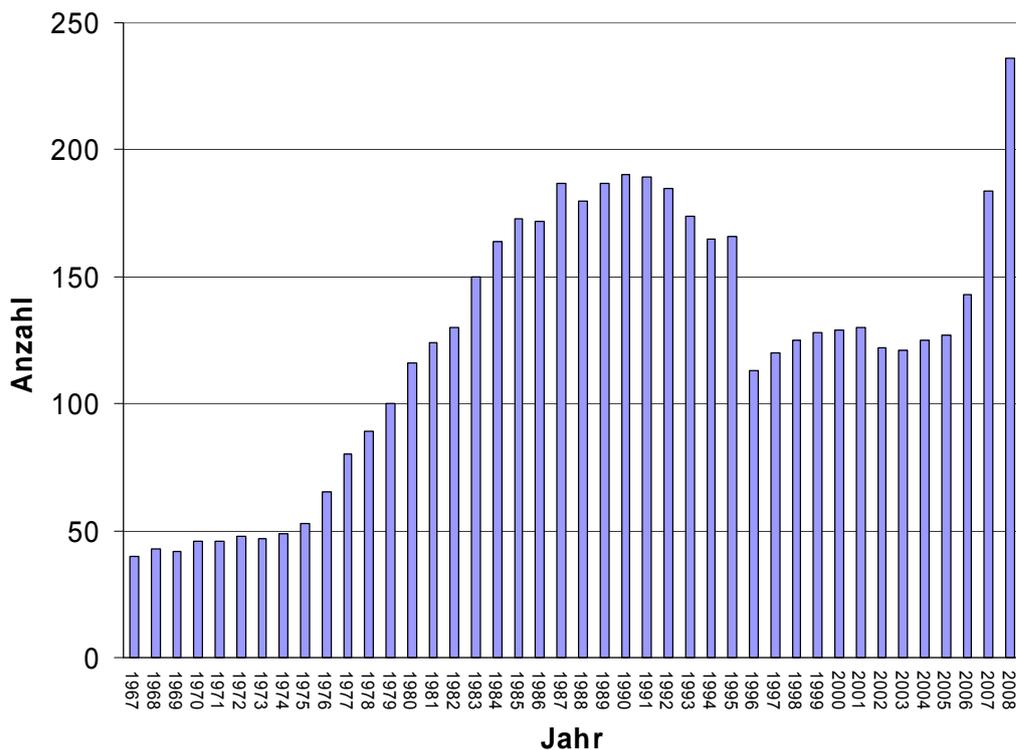


Abb. 4.1.1: Anzahl der Personen in der Beschäftigtengruppe des GM Asse pro Jahr über den Zeitraum 1967 bis 2008 (Eigenpersonal, n=621)

4.2 Arbeitsanamnesen

Für die Rekonstruktion der Strahlenexposition der Asse-Mitarbeiter sind fünf Informationsquellen relevant: die Werte der Personendosimetrie, die Ergebnisse von Inkorporationsmessungen, die Ortsdosisleistung bzw. Ortsdosis in der Gruben, Expositionen, die aus Grubenluft und Laugen resultieren, und Expositionen, die aus Kontaminationsereignissen resultieren. Für die ersten beiden Informationsquellen liegen direkt individuell zuordenbare Werte vor. Für die letztgenannten Informationsquellen ist eine Zuordnung von individuellen Werten nur über zusätzliche Informationen, die die Tätigkeiten der Personen betreffen, möglich. Daher wurde versucht für jede Person in der Beschäftigtengruppe GM Asse eine Arbeitsanamnese zu erstellen, d. h. festzustellen, von wann bis wann die Person unter Tage beschäftigt war oder über Tage Umgang mit den radioaktiven Abfällen hatte.

Beim Betreiber HMGU oder in den vom Betreiber HMGU an die Asse GmbH im Zuge des Betreiberwechsels übergebenen Daten der Schachanlage Asse II liegen folgende Unterlagen vor, aus denen Informationen zur Tätigkeit der Beschäftigten entnommen werden können:

- **Einfahrtbücher:** Lose Blätter oder Bücher mit handschriftlichen Eintragungen, in die sich kurzzeitig bei der Asse anwesende Personen eingetragen haben, wenn sie in den Schacht eingefahren sind. Vermerkt wurde jeweils Name, Sohle, Datum, Uhrzeit der Einfahrt und Uhrzeit der Ausfahrt. Sie decken nur einzelne Zeitperioden ab.

- **Rapportbücher:** Seit 1968 vom Obersteiger geführte Bücher, in denen vor allem die unter Tage durchgeführten Arbeiten mit der Anzahl der beteiligten Personen dokumentiert sind. Sie enthalten keine Namen.
- **Tagesberichte:** Für die Zeitperioden 03/1997-02/1999 und 01/2005-01/2008 vorhandene Aufzeichnungen zu Tätigkeit und deren Ort, die als Grundlage für die Abrechnung dienen.
- **Kontrolllisten:** Seit Mitte 1976 monatlich von der Personalabteilung geführte Listen, in denen die Abteilung, Name, Staub ja/nein, Überstunden und unter Tage-Schichten taggenau verzeichnet sind, nach Angabe der Personalabteilung der Asse GmbH für Personen, die Lohn- und Gehaltsempfänger der Schachanlage Asse waren.
- **Anwesenheitsliste:** Seit Mitte 1976 bei der GSF auf der Basis der Kontrolllisten erstellte monatliche Listen für Personen, deren Abrechnung nach dem Tarif ‚Kali und Salz‘ erfolgte. D. h. Angehörige der wissenschaftlichen Abteilung, deren Abrechnung nach BAT erfolgte, waren nicht enthalten. Sie enthalten die Angaben Name, Beruf, Projekt, Eintritt, Austritt und unter Tage tätig.
- **Monatsberichte:** Aufzeichnungen über Tätigkeiten, die in den 60er und 70er durchgeführt worden sind ohne die Angabe der Namen der beteiligten Personen.
- **Personendosimetrie:** In der Strahlenschutzabteilung vorhandene Dateien mit den Werten der amtlichen Filmdosimeter. Es sind monatliche Werte für den gesamten Monitoringzeitraum (1967 bis 2008) vorhanden.

Da die Einfahrtbücher, die Rapportbücher, die Tagesberichte und die Monatsberichte keine personenbezogene Informationen enthalten bzw. nur einen sehr kurzen Zeitraum abdecken, sind sie für die Erstellung von Arbeitsanamnesen nicht brauchbar.

Für den Zeitraum ab Mitte 1976 geben die Anwesenheits- und Kontrolllisten am genauesten Auskunft über die Tätigkeiten der Asse-Mitarbeiter, die in den Listen aufgeführt sind. Aus diesen Listen wurde daher von der Asse GmbH auf der Basis der vom Betreiber HMGU übergebenen Daten eine Datei erstellt die folgende Variablen enthält: Identifikationsnummer, Tätigkeit, Jahr, Monat, Anzahl der nachweisbaren unter Tage-Schichten. Da die elektronische Erfassung von Monatswerten für die unter Tage-Schichten einen enormen Aufwand darstellte, wurde vom BfS entschieden, diese nur für die Einlagerungsphase (bis 1978) für alle Mitarbeiter zu erfassen. Für den restlichen Zeitraum wurden Monatssummen nur für solche Mitarbeiter erfasst, für die in dem entsprechenden Jahr insgesamt zwischen 1 und 176 unter Tage-Schichten (d.h. weniger als 80% der üblichen 220 Schichten pro Jahr) verzeichnet sind. Ansonsten wurden die Jahressummen der unter Tage-Schichten erfasst, da angenommen wird, dass die Person dann das ganze Jahr unter Tage gearbeitet hat.

Für die Betriebsjahre vor 1976 und die Personen, die nicht in den Anwesenheits- bzw. Kontrolllisten erfasst sind, stellen die Aufzeichnungen des Strahlenschutzes zur amtlichen Personendosimetrie die genaueste Informationsquelle zur unter Tage-Tätigkeit dar. Aus diesen ist zu entnehmen, in welchem Zeitraum eine Person dosimetrisch überwacht war und somit möglicherweise unter Tage tätig. Abbildung 4.2.1 zeigt für jedes Jahr die Anzahl der Personen mit Angaben zu unter Tage Schichten, die Anzahl der Personen ohne Angaben zu unter Tage-Schichten, die aber dosimetrisch überwacht worden sind, und die Anzahl der Personen, die nicht dosimetrisch überwacht worden sind und für die keine Informationen zu unter Tage-Schichten vorliegen.

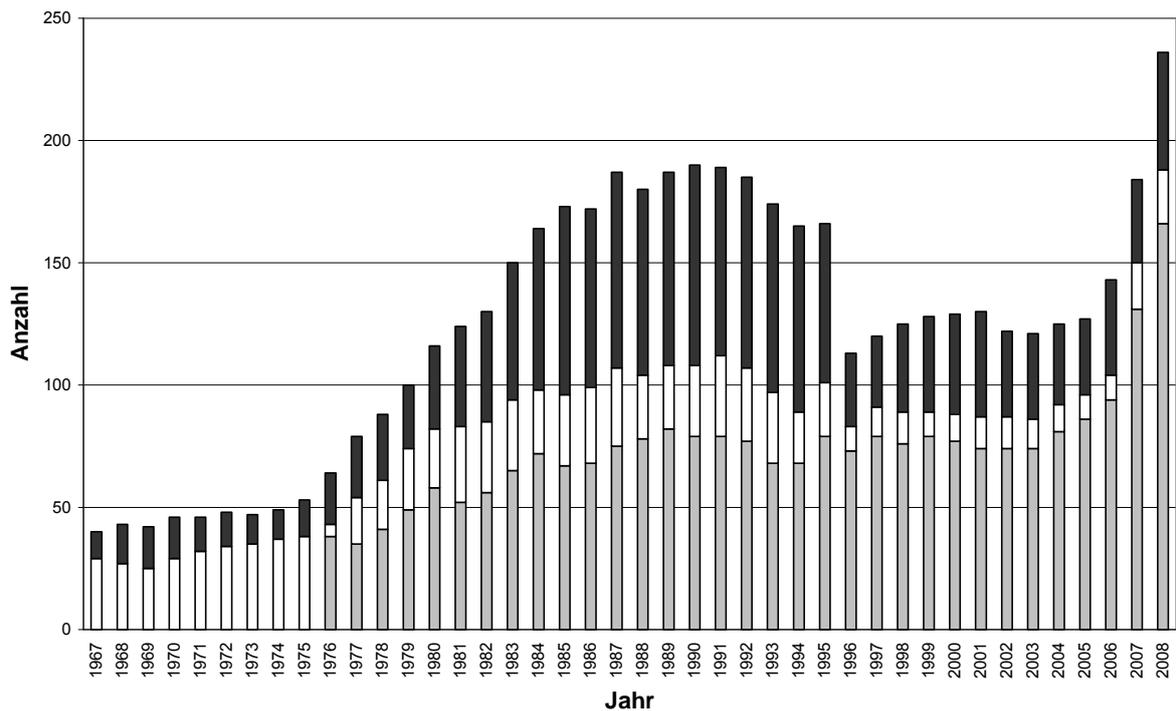


Abb. 4.2.1 Verteilung der Beschäftigten mit Angaben zu unter Tage-Schichten (hellgrau), der Beschäftigten, für die nur Angaben zur dosimetrischen Überwachung existieren (weiß) und der Beschäftigten, für die weder Angaben zu unter Tage-Schichten noch Angaben zur dosimetrischen Überwachung existieren (schwarz), über den Zeitraum des Monitoring.

Wie aus Abbildung 4.2.1 zu erkennen ist, ist für einen beträchtlichen Teil der Mitarbeiter der Beschäftigtengruppe Asse II aus den vorhandenen Unterlagen nicht ersichtlich, ob und wann der jeweilige Mitarbeiter unter Tage beschäftigt war. Das Erstellen einer individuellen Arbeitsanamnese als Grundlage für die Expositionsquantifizierung ist für diese Personen daher nicht möglich. Um die mögliche Strahlenexposition konservativ abzuschätzen, wird für diese Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen angenommen, dass sie pro Beschäftigungsjahr 220 Schichten unter Tage gearbeitet haben. Aus Gründen der Konsistenz wurde diese Annahme auf alle Personen in der Beschäftigtengruppe des GM Asse übertragen, unabhängig davon, ob bekannt ist oder unbekannt, ob und wie lange sie in einem Jahr unter Tage beschäftigt waren. Bei späteren individuellen Anfragen von Beschäftigten zur persönlichen Strahlenexposition werden nach individueller Befragung und Abgleich mit den dokumentierten Aufenthalten selbstverständlich soweit recherchierbar die tatsächlichen Aufenthalte bei der Berechnung berücksichtigt.

5 STRAHLENEXPOSITIONSDATEN

Tabelle 5.1 zeigt eine Liste aller für das GM Asse verwendeten historischen Messdaten zur Strahlenexposition. Teilweise waren die Daten nur auf Papierunterlagen vorhanden und mussten erst elektronisch erfasst werden. Die Messdaten werden im Detail in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben.

Tab. 5.1: Für das GM Asse verwendete historische Daten zur Strahlenexposition

Daten zur Strahlenexposition	Messzeitraum
Personendosimetrie (Kapitel 5.1) <ul style="list-style-type: none"> • Monatliche personenbezogene Messwerte der amtlichen und betrieblichen Personendosimetrie (Filmdosimeter) für vom Strahlenschutz überwachte Personen 	1967 - 2008
Inkorporationsüberwachung (Kapitel 5.2) <ul style="list-style-type: none"> • Personenbezogene Messwerte der Inkorporationsüberwachung mittels Ganzkörperzähler für strahlenschutzüberwachtes Personal 	1972, 1974, 1976, 1977 - 2008
Ortsdosisleistungsmessungen (Kapitel 5.3) <ul style="list-style-type: none"> • Messwerte der Ortsdosisleistung (ODL) in der Grube, in und vor Einlagerungskammern • Messwerte der Ortsdosis mit Thermolumineszenz-Dosimetern in der Grube, auf dem Gelände, am Zaun, außerhalb des Zauns 	1980 - 2008 1975 - 2008
Messungen der Aktivität in der Abluft (Kapitel 5.4) <ul style="list-style-type: none"> • Messwerte zur kurzlebigen und langlebigen Aerosolaktivität für Gesamtalpha- und Gesamtbeta Strahlung in der Abluft (Schacht 2 und 4, Druckerhöhungsstation, Zaun) • Messwerte zur Gammaaktivität der Abluftüberwachung (Schacht 2 und 4, Druckerhöhungsstation, Zaun) • Jahresableitungen radioaktiver Stoffe mit der Abluft 	1971 - 2008 1977 - 2008 1978 - 2008
Messungen der Aktivität in der Grubenluft (Kapitel 5.5) <ul style="list-style-type: none"> • Luftstaubmesswerte zur kurzlebigen und langlebigen Aerosolaktivität für Gesamtalpha- und Gesamtbetastrahlung in der Grube • Radonmesswerte (Elektretodosimeter) in der Grubenluft • Tritiumaktivitätsmessungen in der Grubenluft • Radionuklidspezifische Messungen in der Grube 	1969 - 2008 1989 - 2008 1972 - 2008 1976 - 2008
Messungen der Aktivität in Salzlösungen (Kapitel 5.6) <ul style="list-style-type: none"> • Messwerte von Radionuklidaktivitäten in Laugeproben • Tritiumaktivitätsmessungen 	1988 - 2008 1988 - 2008

Die Erhebung der nicht personenbezogenen radiologischen Daten wurde vom Strahlenschutzbeauftragten der Asse GmbH in einem Bericht /ASS 10a/ ausführlich dokumentiert und zusammen mit den elektronisch erfassten Daten sowie den eingescannten handschriftlichen Originalunterlagen auf einer CD an das BfS übergeben. Alle Daten wurden vom BfS auf Plausibilität geprüft.

Zur Durchführung des GM Asse wurde weitgehend auf Messergebnisse des früheren Betreibers HMGU zurückgegriffen. Die dem BfS übergebenen Messdaten wurden vom BfS auf

fachliche Richtigkeit überprüft. Seit dem Beginn der Einlagerungen radioaktiver Abfälle in die Schachtanlage Asse II 1967 sind die jeweils zu erfüllenden rechtlichen Anforderungen an die Strahlenschutzüberwachung der Beschäftigten anspruchsvoller geworden. Es kann nicht von einer vollständigen Erfassung aller strahlenschutzrelevanten Daten über den gesamten Zeitraum ausgegangen werden, insbesondere im Hinblick auf eine vollständige Dokumentation aller strahlenschutzrelevanten Arbeitssituationen. Für die Ermittlung der Strahlenbelastung der Beschäftigten wurde daher Berechnungsverfahren eingesetzt, die die tatsächliche Belastung im Falle von Unsicherheiten überschätzen, so dass die ermittelten Strahlenbelastungen eine maximale Abschätzung darstellen. Es ist daher nicht auszuschließen, dass es in Einzelfällen zu nicht dokumentierten, höheren Strahlenbelastungen gekommen ist. Für die Beschäftigten insgesamt ist die vorhandene Datenbasis aussagefähig und wissenschaftlich belastbar.

5.1 Personendosimetrie

Nach Strahlenschutzverordnung ist für Personen, die sich in Kontrollbereichen aufhalten, die Körperdosis zu ermitteln. Kontrollbereiche sind Bereiche, in denen Personen im Kalenderjahr mehr als 6 mSv effektive Dosis (ca. 3 μ Sv/h bei 2000 Arbeitsstunden) erhalten können.

Personen, die einer beruflichen Strahlenexposition ausgesetzt sind, werden zum Zweck der Kontrolle und der arbeitsmedizinischen Vorsorge in zwei Kategorien eingeteilt:

- Kategorie A: Personen mit mehr als 6 mSv möglicher Jahresdosis
- Kategorie B: Personen mit mehr als 1 mSv möglicher Jahresdosis ohne in Kategorie A zu fallen.

Für die dosimetrische Überwachung ist die Kategorie ohne Bedeutung. Allerdings bedürfen Personen der Kategorie A einer erweiterten jährlichen ärztlichen Vorsorge. Die beruflichen Grenzwerte betragen für beide Kategorien von 1967 bis Ende Juli 2001 einheitlich 50 mSv pro Jahr bzw. ab 1. August 2001 20 mSv pro Jahr. Darüber hinaus war bis zu diesem Datum die Dosis in drei aufeinander folgenden Monaten auf die Hälfte der Jahresdosis begrenzt. Für Frauen darf die Monatsdosis an der Gebärmutter 2 bzw. 5 mSv nicht überschreiten. Zusätzliche Grenzwerte sind für verschiedene Teilkörperexpositionen festgelegt, für Jugendliche sind niedrigere Werte vorgesehen. Außerdem ist die über alle Berufsjahre kumulierte Berufslebensdosis auf 400 mSv begrenzt.

Strahlenpässe für beruflich strahlenexponierte Beschäftigte, die in Strahlenschutzbereichen von fremden Betrieben arbeiten, wurden verbindlich im Jahr 2004 eingeführt. Personen aus fremden Betrieben, d.h. nicht von der Asse selbst Beschäftigte, bedürfen seit diesem Zeitpunkt bei Arbeiten oder Tätigkeiten in Kontrollbereichen der Schachtanlage Asse II eines sog. Strahlenpasses: vor dem Betreten des Kontrollbereichs ist der Strahlenpass des Mitarbeiters von Fremdfirmen beim Strahlenschutzbeauftragten abzugeben; er erhält dort ein Dosimeter der Schachtanlage Asse. Nach Beendigung der Arbeit wird die auf der Schachtanlage Asse II erhaltene Dosis im Strahlenpass eingetragen. Der Strahlenpass ist Eigentum der jeweiligen Person. Informationen über Dosiseinträge in den Strahlenpässen von Mitarbeitern von Fremdfirmen liegen dem BfS nicht vor.

Beruflich strahlenexponierte Personen sind regelmäßig über Arbeitsmethoden, mögliche Gefahren, anzuwendende Sicherheits- und Schutzmaßnahmen zu unterweisen. Nach Angaben des Strahlenschutzbeauftragten der Schachtanlage Asse ist diese Unterweisung mindestens einmal jährlich erfolgt, meist im Anschluss an die Betriebsversammlung. Die Beschäftigten mussten die Teilnahme an der Unterweisung per Unterschrift bestätigen. Die regelmäßige Teilnahme wurde in öffentlichen Äußerungen vereinzelt angezweifelt. Der Strahlenschutzbeauftragte der Schachtanlage Asse II hat inzwischen dem BfS die Unterschriftslisten zur Strahlenschutzunterweisung soweit noch vorhanden übergeben.

Bei der Ermittlung der Strahlendosis einer Person sind die externe und interne Strahlenexposition zu berücksichtigen. Erstere wird verursacht durch ionisierende Strahlung größerer Reichweite von radioaktiven Quellen außerhalb des menschlichen Körpers oder von Kontaminationen auf der Haut. Die interne Strahlenexposition stammt von radioaktiven Stoffen, die in den menschlichen Körper gelangt sind, z. B. durch Inhalation radioaktiver Aerosolpartikel. Das Verfahren der Erfassung der äußeren Strahlenbelastung wird nachfolgend beschrieben, das zur inneren Strahlenbelastung im Kapitel 5.2 Inkorporationsüberwachung auf der Schachtanlage Asse.

Überwachung der äußeren Strahlenexposition auf der Schachtanlage Asse II

In der Schachtanlage Asse II waren von 1967 bis 1978 alle Personen unter Tage als strahlenexponierte Personen der Kategorie A eingestuft und wurden dosimetrisch überwacht, d.h. Tragen von Filmdosimeter mit monatlichem Filmwechsel; in Kontrollbereichen Beschäftigte erhielten zusätzlich Stabdosimeter (sog. Füllhalterdosimeter) mit wöchentlicher Ablesung; bei Personen, die mit der Einlagerung mittelradioaktiver Stoffe beschäftigt waren erfolgte ein arbeitstägliches Ablesen. Ab 1979 war nach Auffassung des Betreibers das ständige Tragen von Dosimetern außerhalb der Kontrollbereiche nicht mehr erforderlich, da die mögliche Strahlenexposition bei Arbeiten in der Schachtanlage Asse II kleiner als der Grenzwert zur Überwachung war. Ab 1985 wurde von der Genehmigungsbehörde die Tragepflicht der Dosimeter für Beschäftigte grundsätzlich aufgehoben. Nur Personen des Strahlenschutzes, der Öffentlichkeitsarbeit und Aufsichtspersonal waren zum ständigen Tragen der Filmdosimeter und Stabdosimeter verpflichtet. Personal, das aufgrund seiner Aufgaben überwiegend unter Tage tätig war, wurde seit 1985 vorsorglich als strahlenexponierte Personen der Kategorie B eingestuft.

Mittels Filmdosimeter wird die Äquivalentdosis durch Röntgen-, Gamma- und Elektronenstrahlung erfasst. Die Schwärzung des entwickelten Films ist ein Maß für die Dosis. Dabei beträgt die Nachweisgrenze der Filmdosimeter bis 06/1978 0,4 mSv pro Monat, von 07/1978 bis 07/2001 0,2 mSv pro Monat und ab 08/2001 0,1 mSv pro Monat. Eine amtlich festgestellte Dosis von 0 mSv bedeutet, dass die Dosis unterhalb der Nachweisgrenze des verwendeten Dosimeters liegt.

Das Filmdosimeter ist bei einer behördlich bestimmten Messstelle anzufordern. Die Dosismessungen in der Schachtanlage Asse II wurden bis Ende 2008 ausnahmslos durch die amtliche Messstelle im Helmholtz Zentrum München (HMGU) (früher GSF) durchgeführt. Die Überwachung erfolgte durch monatliche Ausgabe von Filmplaketten (Typ GSF99-031, Kassette GD-10), die per Post an den Strahlenschutzbeauftragten versandt wurden. Dieser (oder eine beauftragte Person) legte die Filme in eine Kunststoffkassette ein. Das Filmdosimeter wird vom Mitarbeiter vor dem Betreten der Grube bzw. Kontrollbereich mit Hilfe einer Sicherheitsnadel an der Kleidung befestigt. Am Ende eines Monats wird der Film vom Strahlen-

schutzbeauftragten (oder einer beauftragten Person) aus der Kassette entnommen und per Post an die Auswertestelle gesandt. Dort werden die Film entwickelt und die Dosis bestimmt.

Zu beachten ist, dass die Hintergrundstrahlung von der zuständigen Messstelle numerisch abgezogen wird. Dies geschieht seitens der Messstelle durch Ermittlung des sog. Grundschleiers. Dazu werden pro Entwicklungsprozess zwei zusätzliche unbestrahlte Filme ausgemessen und diese Schwärzung von den benutzten Filmen abgezogen. Der zum Abzug kommende Wert ist damit nicht betriebsspezifisch, sondern spezifisch für die Messstelle bzw. die gemeinsam entwickelten Filmchargen. Er beträgt ca. 0,05 mSv pro Monat.

Die zusätzlich getragenen jederzeit ablesbaren sog. Füllhalter- oder Stabdosisimeter wurden wöchentlich vom Strahlenschutzbeauftragten ausgewertet und wieder aufgeladen. Besucher und Fremdpersonal erhielten ebenfalls Füllhalterdosimeter, die unmittelbar nach der Ausfahrt ausgewertet wurden. Informationen über die Werte dieser Dosimeter liegen dem Strahlenschutzregister des BfS nicht in elektronischer Form vor – sie stehen aber auf eingescannten handschriftlichen Unterlagen des Strahlenschutzbeauftragten der Schachanlage Asse II zur Verfügung. Die Werte dieser Füllhalterdosimeter gelten grundsätzlich als zuverlässig, können jedoch durch äußere Einwirkungen, wie z. B. durch einen Stoß (Herunterfallen des Dosimeters) falsche Dosiswerte anzeigen. Eine strichprobenweise Durchsicht der Aufzeichnungen der Füllhalterdosimeter und Abgleich mit den Daten der Filmdosisimeter wurde von der Arbeitsgruppe Strahlenschutzregister des BfS durchgeführt. Die gesichteten Dosiswerte der Stabdosisimeter waren in aller Regel geringer als die Werte der vergleichbaren Filmdosisimeter. Deshalb wurden ausschließlich die Werte der amtlichen Filmdosisimeter für das GM Asse verwendet.

Datenbestand

Dem Strahlenschutzregister des BfS wurden die Daten zur betrieblichen Personendosimetrie vom Strahlenschutzbeauftragten der Schachanlage Asse II zusammen mit den eingescannten Originalunterlagen übergeben. Zusätzlich hat das BfS die Daten von der bis 2008 zuständigen amtlichen Messstelle im Helmholtz Zentrum München (HMGU) angefordert, um die Daten des Strahlenschutzbeauftragten der Schachanlage Asse II zu validieren. Von daher liegen zwei „Datenpakete“ unterschiedlicher Quellen mit Ergebnissen der Personendosimetrie vor (Tabelle 5.1.1):

- Daten des Strahlenschutzbeauftragten der Schachanlage Asse II als ACCESS-Datenbank;
- Daten der zuständigen amtlichen Messstelle (Helmholtz Zentrum München (HMGU), früher GSF) als Text-Datei.

Tab. 5.1.1: Datenbestand zur Personendosimetrie

Lieferant	Format	Beginn	Ende	Personen	Monatswerte
Asse	Access	04.04.1967	31.12.2008*	385	32.814
Messstelle	Text	01.01.1970	01.04.1997**	288	22.181

* 31.12.2008: Projektende

** Daten nach 05/1997 liegen im Strahlenschutzregister des BfS vor und können jederzeit personenbezogen abgerufen werden

Die Daten des Strahlenschutzbeauftragten der Schachtanlage Asse II enthalten neben den Personendaten (Name, Vorname, teilweise Geburtsdatum) auch Daten zu Fremd- oder Eigenpersonal, Strahlenschutzkategorie A oder B, Überwachungszeitraum und Dosis. Zusätzlich enthält die Datenbank 37 Werte von Albedo-Dosimetern, die speziell zur Detektion von Neutronen dienen. Laut mündlicher Aussage des damaligen Strahlenschutzbeauftragten wurden sie zur dosimetrischen Überwachung bei Forschungsarbeiten zur Streustrahlung von Neutronenstrahlung eingesetzt. Um zu prüfen, ob die vorliegenden elektronisch erfassten Daten korrekt und vollständig sind, hat das BfS sie mit den eingescannten vorliegenden Originalerfassungslisten stichprobenweise verglichen. Hierbei zeigten sich keine Abweichungen.

Die Daten der amtlichen Messstelle (HMGU) enthalten 22.181 monatliche Dosiswerte, die im HMGU mit dem Betriebsnamen „GSF - FORSCHUNGSZENTRUM FUER UMWELT UND GESUNDHEIT GMBH FORSCHUNGSBERGWERK ASSE SCHACHTANLAGE ASSE II AM WALDE 2 38319 REMLINGEN“ seit 01.01.1970 elektronisch archiviert sind. Ältere Werte sind nicht mehr vorhanden, da die vorgeschriebene Mindestaufbewahrungsdauer abgelaufen ist. Die Daten enthalten folgende Informationen: Name, Vorname, Geburtsdatum, ID-Nummer, Überwachungsbeginn, Überwachungsende, Dosis (in mSv), Bemerkung (5 = Film nicht ordnungsgemäß eingelegt, 4 = Film unbewegt im Direktstrahl bestrahlt (absichtlich), 7 = Dosimetersonde defekt, 3 = Film von hinten bestrahlt, 8 = Film außerhalb Kassette bestrahlt). Mitarbeiter von Fremdfirmen sind in den Daten der amtlichen Messstelle als solche erkennbar nicht enthalten.

Auffälliges Merkmal einer Auswertung der Daten der Messstelle ist das Merkmal „Film nicht ordnungsgemäß eingelegt“. Dies wurde von der Messstelle in 94 % aller Dosismeldungen größer 0 mSv (317 Werte) ermittelt. Bei Dosismeldungen gleich 0 mSv kann dies nicht überprüft werden (21.864 Werte). Laut amtlicher Messstelle des HMGU konnte dies bei den in den 70er und 80er Jahren verwendeten Kassetten GD-10 aufgrund einer mittigen Befestigungssicherheitsnadel leicht passieren. Dies hat aber auf die ermittelte Dosis keinen Einfluss.

Ein Abgleich beider Dateien (Schachtanlage Asse II und amtliche Messstelle) ergab bei 22.000 Monatswerten nur 8 Unstimmigkeiten. Diese wurden abgeklärt und korrigiert. Für das GM Asse wird die Datenbank der Asse GmbH verwendet, da dort sowohl Informationen zu Mitarbeitern von Fremdfirmen vorhanden sind als auch der vollständige Zeitraum ab 1967 abgedeckt ist.

Beschreibung der Personendosimetriedaten

In den vom Strahlenschutzbeauftragten der Schachtanlage Asse II gelieferten Dosimetriedaten sind monatliche Dosiswerte für 383 Personen vorhanden. Bei 312 dieser Personen handelt es sich um Eigenpersonal. Abbildung 5.1.1 zeigt die Anzahl der dosimetrisch überwachten und nicht überwachten Personen der Beschäftigtengruppe GM Asse. Auffällig ist, dass auch in der Einlagerungsphase, in der für alle Beschäftigte unter Tage die Pflicht bestand, ein amtliches Filmdosimeter zu tragen, einige Beschäftigte nicht dosimetrisch überwacht wurden. Bei diesen Personen handelt es sich jedoch um Personen für die nicht recherchiert werden konnte, ob und wann sie unter Tage tätig waren. Auch diese Personen wurden vorsorglich der Beschäftigtengruppe GM Asse zugeordnet.

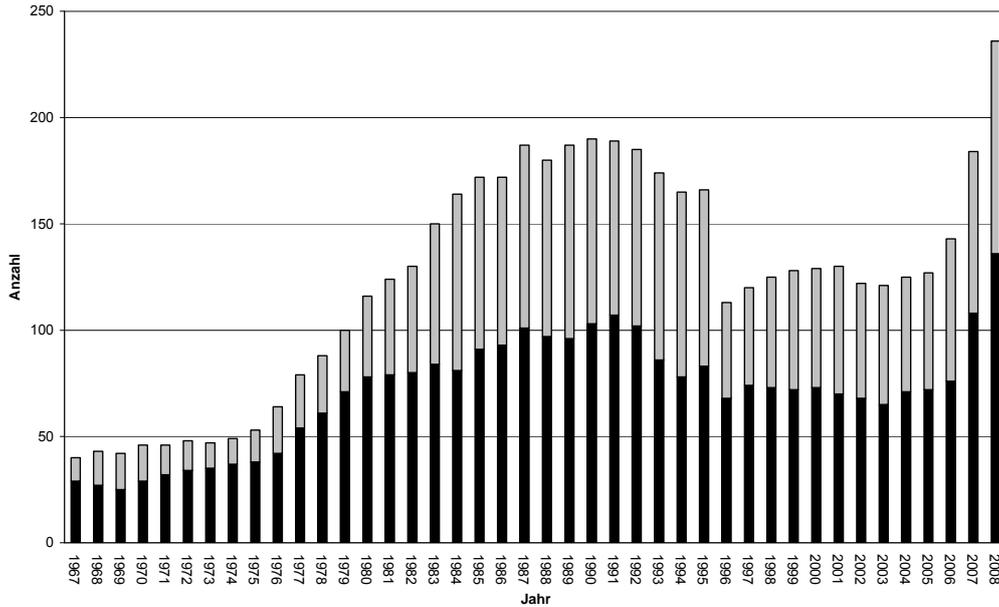


Abb. 5.1.1: Verteilung der dosimetrisch überwachten Personen (schwarze Balken) und der nicht dosimetrisch überwachten Personen (graue Balken) der Beschäftigtengruppe des GM Asse (nur Eigenpersonal) im Zeitraum 1967 bis 2008.

Neben den dosimetrischen Daten für das Eigenpersonal liegen auch für 71 Mitarbeitern von Fremdfirmen Angaben vor. Diese finden sich vor allem für das Jahr 1978, in dem die Einlagerung besonders intensiv betrieben wurde (siehe Tabelle 5.1.1).

Tab. 5.1.1: Zeitliche Verteilung des dosimetrisch überwachten Fremdpersonals

Jahr	Anzahl
1973	1
1977	22
1978	60
1979	5
1980	9
1981	1
1982	3
1994	1

Für die 383 überwachten Personen sind insgesamt 32.814 Monatswerte vorhanden. 98,7% der Monatswerte sind Nullwerte (siehe Tabelle 5.1.2), d. h. sie liegen unter der Nachweisgrenze der eingesetzten Filmdosimeter. 346 Werte liegen über der Nachweisgrenze, von diesen stammen 7 Werte aus der Zeit nach der Einlagerung der Abfälle (1983 wurde einmal eine Dosis von 0,2 mSv gemessen und zweimal eine Dosis von 0,6 mSv, 1990 einmal 0,2 mSv, 1991 zweimal 0,2 mSv, 1994 einmal 0,4 mSv). Die höchste einzelne Monatsdosis im Monitoringzeitraum beträgt 4,5 mSv (Mittelwert aller Monatsdosen: 0,05 mSv). Bei 66 Datensätzen fehlt die Angabe der Dosis. Bei diesen Datensätzen ist eine Bemerkung vorhanden, wie z. B. ‚Film verloren‘, ‚kein Film zugeordnet‘.

Tab. 5.1.2 Verteilung der monatlichen Messwerte der amtlichen Personendosimetrie in mSv

Messwert (mSv)	Anzahl	%
0	32.402	(98,7 %)
>0 - <1	257	(0,8 %)
1 - <2	70	(0,2 %)
2 - <3	14	(0 %)
3 - <4	3	(0 %)
4 - 4,5	2	(0 %)
fehlende Werte	66	(0,2 %)
Summe	32.814	(100 %)

Abbildung 5.1.2 zeigt für dosimetrisch überwachtes Eigenpersonal (n=312) der Beschäftigtengruppe GM Asse die Verteilung der Gesamtdosis (= lebenslang aufsummierte berufliche Dosis bei Beschäftigung bei der Asse) in mSv auf der Basis der Daten der Filmdosimeter. Fast 80% des überwachten Eigenpersonals weist auf Basis der amtlichen Personendosimetrie eine lebenslange Dosis von 0 mSv auf. Die maximal erreichte kumulative Dosis beim Eigenpersonal beträgt 38,8 mSv und 0,2 mSv bei Mitarbeitern von Fremdfirmen.

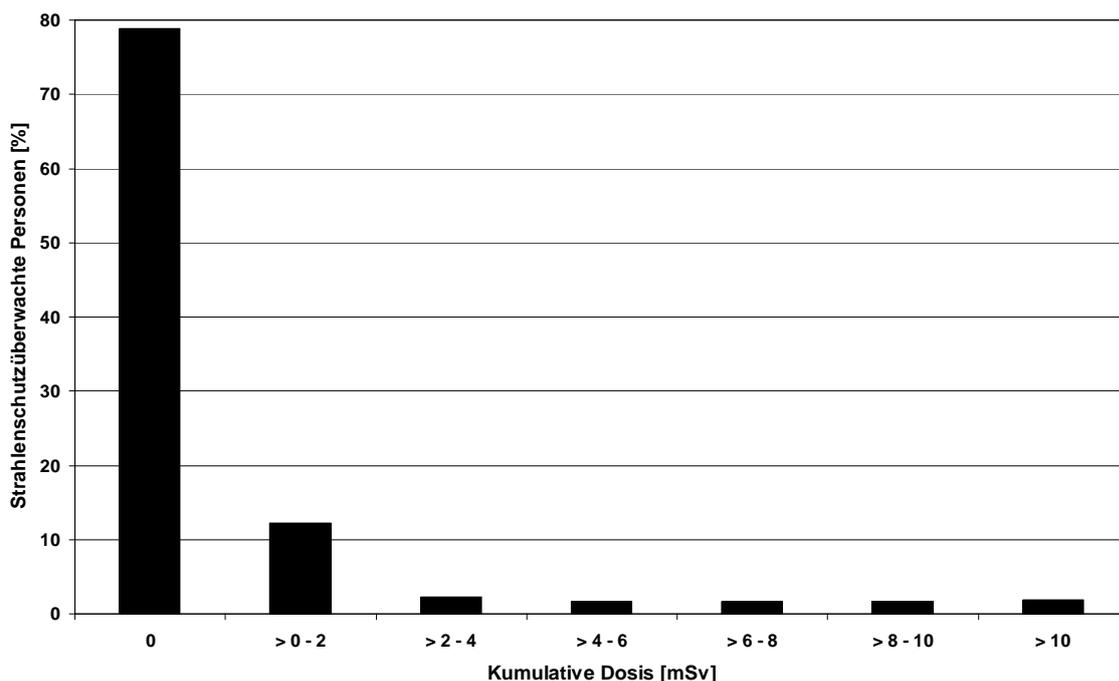


Abb. 5.1.2: Verteilung der Gesamtdosis in mSv (lebenslang aufsummierte berufliche Dosis der Filmdosimeter) des dosimetrisch überwachten Eigenpersonals (n=312) über den Zeitraum 1967 bis 2008

Betrachtet man die Verteilung der jährlichen mittleren und maximalen Jahrespersonendosis laut amtlicher Personendosimetrie (siehe Abbildung 5.1.3), so liegen ab 1979 alle Mittelwerte bei Null, während in der Einlagerungsphase mittlere Jahresdosen bis zu 2 mSv auftreten. Die höchste Maximaldosis pro Jahr wurde 1972 mit einem Wert von knapp 15 mSv erreicht. Diese mit Abstand höchste Maximaldosis im Vergleich zu den anderen Jahren liegt unter dem

damaligen Grenzwert (1967 bis Juli 2001) von 50 mSv pro Jahr und dem heute gültigen Grenzwert von 20 mSv pro Jahr. In den Jahren nach der Einlagerungs- und Umlagerungsphase (d.h. nach 1980) liegen die maximal beobachteten Jahresdosen bei Beschäftigten unter 2 mSv.

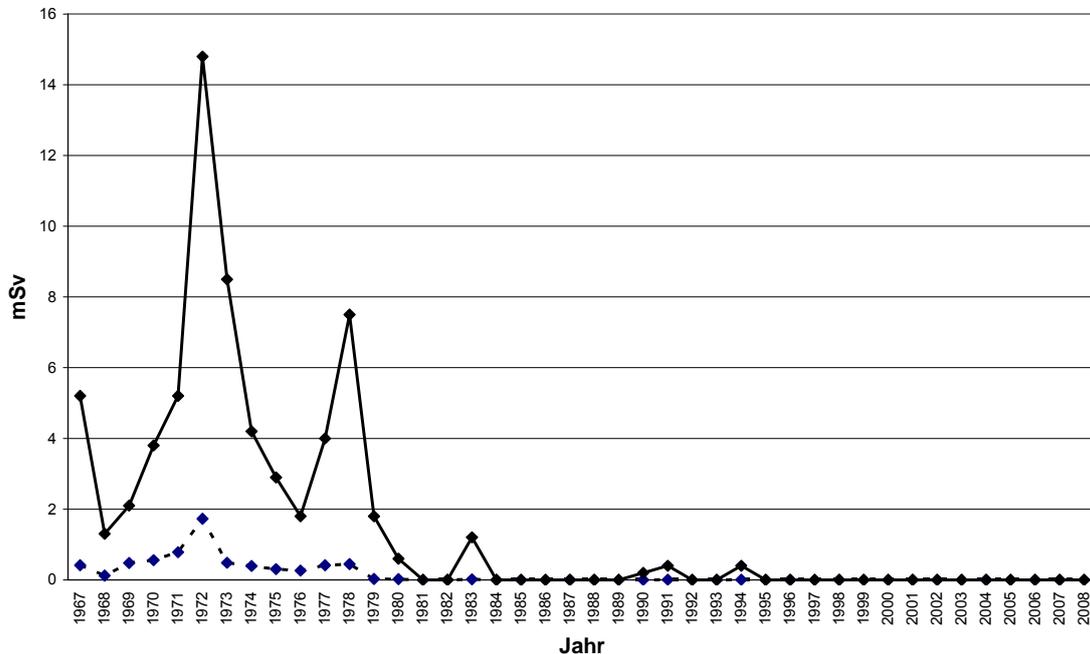


Abb. 5.1.3: Zeitliche Verteilung der mittleren (gestrichelte Linie) und maximalen (durchgezogene Linie) Jahrespersonendosis bei Beschäftigten des GM Asse.

Ein amtlich festgestellter Monatswert von 0 mSv unterstellt, dass das Dosimeter auch von der dosimetrisch zu überwachenden Person getragen wurde. Ab 1979 ist dies in der Beschäftigtengruppe GM Asse außer für die Personen, die weiterhin zum Tragen verpflichtet waren, nicht mehr sicher zu unterstellen.

5.2 Inkorporationsüberwachung

Die interne Strahlenexposition stammt von radioaktiven Stoffen, die in den menschlichen Körper durch das Einatmen radioaktiver Aerosolpartikel oder durch den Verzehr kontaminierter Lebensmittel gelangt sind. Man spricht allgemein von Inkorporation von Radionukliden sowie speziell von Inhalation und Ingestion. Die über einen längeren Zeitraum im Körper akkumulierte Dosis hängt ab von Art und Energie der emittierten Strahlung sowie dem biokinetischen Verhalten der inkorporierten Radionuklide, durch welches bestimmt wird, wie schnell diese wieder ausgeschieden bzw. wo sie u. U. über längere Zeit im Körper eingelagert werden.

Zur Ermittlung der Menge inkorporierter Radionuklide stehen im Wesentlichen drei Verfahren zu Verfügung:

- Untersuchung der Raumluft und Berechnung der inhalierten Menge der Radionuklide,
- Untersuchung von Ausscheidungen (Stuhl, Urin) (In-vitro-Messungen) und Rückrechnung über biokinetische Modell,

- Direkte Bestimmung im Körper durch Ganz- oder Teilkörpermessung (In-vivo-Messungen).

Die Wahl des Messverfahrens hängt hauptsächlich von den Strahlungseigenschaften des zu überwachenden Radionuklids ab. Bei Ausscheidungs- und Ganzkörpermessungen ist zu beachten, dass die messtechnische Ermittlung der jeweiligen Aktivitätswerte zu einem anderen Zeitpunkt erfolgt als die Inkorporation. Die Rückrechnung auf die Zufuhr erfolgt dann mittels sog. Retentions- bzw. Exkretionswerten, die auf denselben biokinetischen und dosimetrischen Modellen beruhen, die für die Herleitung der Dosiskoeffizienten verwendet worden sind /BfS 07/.

Eine einfache und schnelle Methode zur Ermittlung der Körperaktivität ist die Messung der Gammastrahlung, die aus dem menschlichen Körper kommt und mittels geeigneter Detektoren in einem Ganzkörperzähler bestimmt wird. Anhand des Energiespektrums der Gammastrahlung können Radionuklide identifiziert und quantifiziert werden.

Die Detektoren von Ganzkörperzählern erfassen bei der Messung nicht nur die von der jeweiligen Person emittierte Gammastrahlung, sondern unausweichlich auch Teile der kosmischen und terrestrischen Strahlung, der Streustrahlung und der Gammastrahlung von Radionukliden in der Raumluft, in den Baustoffen der Messanlage, von externen Strahlenquellen sowie – sofern vorhanden – von Oberflächenkontaminationen der zu messenden Person. Diese Untergrundbeiträge sind nach Möglichkeit zu minimieren und bei der Auswertung von Ganzkörpermessungen zu berücksichtigen.

Durchführung der Inkorporationsüberwachung auf der Schachtanlage Asse II

Ausscheidungsmessungen wurden laut Schreiben vom 18.08.2010 der Asse GmbH vor 2009 nicht durchgeführt.

Seit Juni 1972 wurden auf der Schachtanlage Asse Ganzkörper-Messungen zur Inkorporationsüberwachung durchgeführt. Die Messungen erfolgten bis 1979 mit einem mobilen Ganzkörperzähler der GSF, 1980 mit einem des Kerntechnischen Hilfsdienstes. Seit 1981 werden die Messungen mit dem früher verwendeten mobilen Ganzkörperzähler der GSF durchgeführt, der auf der 490-m-Sohle eingebaut und stationär betrieben wurde. Die Ganzkörperzähler waren dem damaligen Stand der Technik entsprechend mit NaI-Detektoren (NaI = Natriumiodid) ausgestattet. Mit ihnen konnten inkorporierte, Gammastrahlung emittierende Radionuklide - z. B. Cs-134, Cs-137 und Co-60 - direkt im menschlichen Körper nachgewiesen werden.

Ein Beleg, aus welchem Anlass mit den Untersuchungen 1972 begonnen wurde, konnte nicht gefunden werden. Nach Auskunft des Strahlenschutzbeauftragten der Schachtanlage Asse II handelte es sich um eine freiwillige Vorsorgemaßnahme. Es liegen auch keine Nachweise vor, dass von Seiten der Genehmigungsbehörde Inkorporationsuntersuchungen angeordnet worden waren. Laut den Strahlenschutzberichten des Betreibers HMGU der Schachtanlage Asse II wurden sämtliche unter Tage beschäftigten Personen untersucht.

Abbildung 5.2.1 zeigt die Anzahl der pro Jahr über Ganzkörperzähler untersuchten Personen der Beschäftigtengruppe GM Asse. In den Jahren 1981 und 1982 ist eine verringerte Zahl von Ganzkörpermessungen zu verzeichnen. Laut Angaben des Strahlenschutzbeauftragten

der Schachanlage Asse II ist dies vermutlich auf die Umstellung des Messbetriebes (vorher über-, seit 1981 untertage) zurückzuführen. Insgesamt wurden 292 Personen inkorporationsüberwacht, davon gehören 287 zum Eigenpersonal und 5 zum Fremdpersonal. 273 Personen unterlagen gleichzeitig der amtlichen dosimetrischen Überwachung. Für 208 Personen liegt eine Angabe vor, dass diese Person unter Tage Schichten geleistet hat.

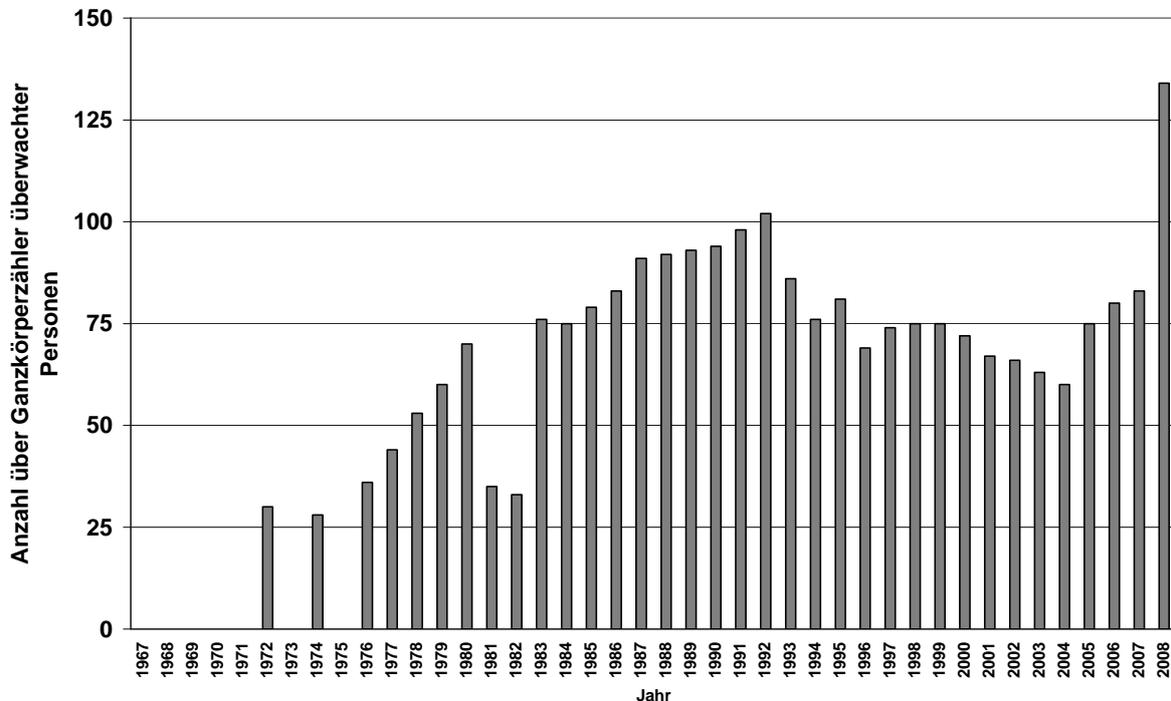


Abb.: 5.2.1: Anzahl der pro Jahr über Ganzkörperzähler überwachten Personen der Beschäftigten-Gruppe des GM Asse

Dokumentation der Ganzkörper-Untersuchungen

Sämtliche Ergebnisse der Ganzkörpermessungen wurden vom Strahlenschutzbeauftragten der Schachanlage Asse II in einer Excel-Tabelle zusammengestellt und zusammen mit den eingescannten Originalaufzeichnungen (Messprotokollbuch) an das BfS übermittelt. Die Übertragung der Daten der Originalaufzeichnungen in die Excel-Tabelle wurde von der Arbeitsgruppe Inkorporationsüberwachung beim BfS stichprobenhaft überprüft und für korrekt befunden. Auf Basis dieser Informationen wurde eine Übersicht über die durchgeführten Messungen (s. Tabelle 5.2.1) erstellt.

Aus den Jahren 1972 bis 1984 liegen nur die Messergebnisse vor, jedoch keine begleitenden technischen Dokumentationen oder Spektren. Die Messergebnisse aus der Einlagerungs- und Umlagerungsphase können somit heute nicht mehr verifiziert werden.

Von 1985 bis 1997 wurden die Gammasppektren der Ganzkörpermessungen auf 14 Tonkassetten gespeichert. Diese Aufzeichnungen wurden von der Arbeitsgruppe Inkorporationsüberwachung beim BfS in Form von Wave-Dateien gesichert. Zwei Kassetten konnten wegen mechanischer Probleme nicht mehr gesichert werden.

Seit 1998 wurden die Gammasppektren auf elektronischen Datenträgern in mit gängiger Gammasppektrometrie-Software direkt aufrufbaren Dateiformaten gesichert. Diese Dateien liegen dem BfS vor. Mit Ausnahme des Jahr 2003 konnten Daten aus diesen Jahren stich-

probenartig verifiziert werden. Die Ergebnisse für das Jahr 2003 können jedoch aus dem Messprotokollbuch entnommen werden.

Die Übereinstimmung der Messspektren mit den in den Protokollen aufgezeichneten Daten sowie die Richtigkeit der Messungen wurde von der Arbeitsgruppe Inkorporationsüberwachung beim BfS an Hand von je 50 auf Kassetten gespeicherten Spektren (1985 – 1997) und 50 direkt aufgezeichneten Spektren (ab 1998) stichprobenhaft überprüft (s. Anhang 2). Es ergaben sich keine Hinweise auf eine fehlerhafte Inkorporationsüberwachung oder Datenübertragung bei der Inkorporationsüberwachung. Der in der Schachtanlage ASSE II eingesetzte Ganzkörperzähler war geeignet, Körperdosen aus der Inkorporation von standardmäßig durch Ganzkörperzählung überwachten Radionukliden auch unterhalb von 1 mSv zu erkennen.

Da die Spektren früher standardmäßig nur auf das Vorhandensein von Cs-137, Cs-134 und Co-60 geprüft wurden, wurden die Spektren in der oben genannten Stichprobe vom BfS zusätzlich auch auf das Vorhandensein weiterer Gammastrahler überprüft (siehe Ergebnisse).

Tab. 5.2.1: Zusammenfassung der In-vivo-Untersuchungen in der Schachtanlage Asse II

Zeitraum/-punkt	Spek-tren	Anzahl der Messungen	Bemerkung	Nachweisgrenzen
30.6.1972	Keine	607, inkl. 48 UG	Alle unter Nachweisgrenze	925 Bq Cs-137
12.-14.3.1974			3 Befunde 1110/1220/300 Bq Cs-137	300 Bq Cs-137
30.11.1976			Alle unterhalb der Nachweisgrenze	300 Bq Cs-137
5.-9.12.1977				185 Bq Co-60
Sep. 1978 – Juni 1979				260 Bq Co-60
Nov. 1980				370 Bq Cs-137
Dez. 1981 – Feb. 1984				230 Bq Cs-137
April 1985 – Mai 1986	Audio-Dateien auf Kasette	1333, inkl. 184 UG und 10 Kal.	Nach Tschernobyl zunächst bei allen Messungen Nachweis von ¹³⁷ Cs, mit der Zeit nachlassend	k. A. zu NWG, Angabe von K-40-Netto-Impulsen und K-40-Untergrund. Ab März 1992 auch Angaben zur Zählunsicherheit von Cs-137
Mai 1987 – April 1997				
März 1998 – Mai 2006	spe-oder spc-Dateien	1003 inkl. 77 UG 8 Kal.	Alle unterhalb der Nachweisgrenze	260 – 274 Bq Cs-137 (NWG) 168 – 177 (EG)
März – Mai 2007			Alle unterhalb der Nachweisgrenze	700 – 1300 Bq Cs-137 (NWG) 447 – 835 (EG)
April/Mai 2008				
Summe		2616	(ohne Untergrund- und Kalibriermessungen)	

UG = Untergrund-Messung, Kal. = Kalibriermessung, NWG = Nachweisgrenze, EG = Erkennungsgrenze, spe-/spc = Dateiformate für aufgezeichnete Gammasppektren

Ergebnisse der Ganzkörper-Untersuchungen

Die positiven Befunde, d.h. Messergebnisse über der Nachweisgrenze der Ganzkörper-Messungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- im März 1974 wurden bei drei Mitarbeitern inkorporiertes Cs-134/137 nachgewiesen. Dieses Messergebnis könnte im Zusammenhang mit einem Kontaminationsereignis auf der Schachanlage Asse II stehen und wird weiter unten beschrieben.
- in den Jahren nach dem Tschernobyl-Unfall wurde, wie bei der übrigen deutschen Bevölkerung, häufig inkorporiertes Cs-134 und Cs-137 nachgewiesen.

Ansonsten ergaben die Ganzkörper-Untersuchungen keine Hinweise auf die Inkorporation weiterer Radionuklide. Dies wurde durch die nachträglich ausführliche Sichtung einer Stichprobe von 100 Gammaskpektren durch die Arbeitsgruppe Inkorporationsüberwachung des BfS (siehe Anhang 2) geprüft. Bezüglich der potentiellen Inkorporation von durch Ganzkörper-Analytik nicht nachweisbarer Radionuklide wird auf das Kapitel 5.7 (Kontaminationsereignisse) verwiesen. Im Folgenden werden die o. g. Inkorporationsfälle von 1974 näher erörtert:

Im März 1974 wurde durch Ganzkörper-Messungen bei drei Mitarbeitern inkorporiertes Cs-134/137 nachgewiesen, wobei eine Aktivität im Bereich der Nachweisgrenze lag, zwei deutlich darüber. Die gefundenen Körperaktivitäten betrug maximal etwa 1220 Bq. Die Befragung eines der betroffenen Mitarbeiter durch die Projektgruppe GM Asse des BfS ergab, dass bei dieser Personen wenige Tage später auf dem stationären Ganzkörperzähler der GSF in Neuherberg eine erneute Ganzkörper-Messung diesmal mit negativem Befund stattfand. Bei der anderen Person mit einem Messergebnis in vergleichbarer Höhe wurde laut Befragung keine Nachmessung durchgeführt. Von einem der befragten Strahlenschutzbeauftragten der Schachanlage Asse II wurde gemutmaßt, dass während der Untersuchungen in der Nähe des Ganzkörperzählers Transportfahrzeuge mit Abfallgebinden vorbei fuhren. Laut Abfallbegleitliste 1221 wurden am 14.3.1974 von der Asse tatsächlich VBA angenommen, welche Cs-134 und Cs-137-haltige Abfälle enthielten. Es kann heute nicht mehr mit Sicherheit festgestellt werden, ob es sich bei den damaligen Messergebnissen um Falsch-Positive oder Richtig-Positive Befunde handelt.

Sollte es sich um reale Inkorporationen gehandelt haben, dann sind diese möglicherweise auf die Streckenkontamination vom 18.12.1973 zurückzuführen, obwohl die drei Personen laut Schriftwechsel zwischen dem Betreiber HMGU der Schachanlage Asse II und der Genehmigungsbehörde nicht an den Dekontaminationsarbeiten beteiligt waren. Laut Bericht des zuständigen Strahlenschutzbeauftragten vom 4.1.1974 und der Anzeige des Vorfalls beim Bergamt Goslar vom 15.1.1974 waren beim Umgang mit Abfallgebinden vermutlich Restflüssigkeiten ausgetreten. Es handelte sich um Abfallgebinde der Gesellschaft für Kernforschung (GfK) in Karlsruhe mit einbetonierten, kontaminierten Gegenständen (Abfallbegleitliste 1239 vom 14.12.1973, Pos. 21-68). Bei den mit den Dekontaminationsarbeiten befassten Personen, welche persönliche Schutzausrüstungen trugen, war keine Cs-Inkorporation festzustellen. Andere gamma-emittierende Radionuklide konnten nicht nachgewiesen werden. Da die inkorporierten Aktivitäten unterhalb der damals nach den ICRP Publikationen 2 /ICR 59/ und 10 /ICR 68/ gültigen maximal zulässigen Ganzkörpergehalte bzw. „Investigation Levels“ lagen, wurde vom damaligen Betreiber im Einvernehmen mit dem Bergamt Goslar von weiteren Untersuchungen abgesehen.

Da in den betreffenden Abfallgebinden laut Begleitliste auch weitere Alpha-, Beta- und Gammastrahler und unter den Alphastrahlern Plutonium enthalten waren, wurde vom BfS eine Dosisabschätzung für die Inkorporation weiterer Radionuklide vorgenommen. Die Inkorporation von Plutonium könnte nach Bewertung der Projektgruppe GM Asse die einzige mögliche Quelle für eine relevante interne Dosis aus dem Kontaminationsereignis 1973 für die Beschäftigten mit Cs-Inkorporation darstellen. Die einzig wissenschaftlich belastbare Möglichkeit, eine relevante Inkorporationsdosis auch heute noch nachzuweisen, besteht in der radiochemischen Untersuchung von 24-Stunden-Urinproben auf Plutonium und Americium.

Die drei Beschäftigten, bei denen eine Cs-Inkorporation an bzw. oberhalb der Nachweisgrenze gemessen wurde und welche heute ca. 70 Jahre alt sind, wurden daher vom BfS angeschrieben mit der Bitte, zur Bestimmung langlebiger alpha-strahlender Radionuklide eine 24-Stunden-Urinprobe abzugeben. Zwei Personen haben der Bitte entsprochen. Die Proben wurden vom Ausscheidungslabor des Vereins für Kernverfahrenstechnik und Analytik (VKTA) Rossendorf auf ihren Gehalt an Pu-238,239+240 und Am-241 (Tochternuklid von Pu-241) analysiert. In beiden Fällen konnte keines der genannten Radionuklide nachgewiesen werden, wobei die Erkennungsgrenze zwischen 0,6 und 0,8 mBq pro 24-Stunden-Urin lag. Rückwirkend kann durch diese Ergebnisse ausgeschlossen werden, dass die beiden untersuchten Personen durch Inkorporation eine effektive 50-Jahre Folgedosis jeweils von über 22 mSv für Pu-241, von etwa 100 mSv für Pu-238 und von etwa 100 mSv durch Pu-239/240 erhalten haben.

5.3 Ortsdosis(leistungs)messungen

Die Ortsdosis ist die Äquivalentdosis an einem bestimmten Ort, d.h. das Produkt aus Energiedosis (im ICRU-Weichteilgewebe /ICR 93/) an diesem Ort und dem Qualitätsfaktor. Ihre Einheit ist das Sievert (Sv). Die Ortsdosis liefert einen konservativen Wert für die Personendosis, die eine Person erhalten würde, wenn sie sich an diesem Ort aufhielte. Die Ortsdosisleistung (ODL) ist die Ortsdosis innerhalb eines Zeitintervalls mit der Einheit Sv/s (Sievert pro Sekunde) oder auch Sv/h (Sievert pro Stunde). Die vom ODL-Messnetz des BfS gemessene oberirdische Ortsdosisleistung wird als Gammaortsdosisleistung bestimmt und beträgt in Remlingen-Asse wie in den anderen umliegenden Messstationen derzeit etwa 100 nSv/h (bzw. 0,1 µSv/h).

Die Ortsdosisleistung in der Schachtanlage Asse II wurde als Gammaortsdosisleistung ab 1980 an verschiedenen Stellen der Grube, ab 1985 zusätzlich in der Beschickungskammer 8a auf der 490-m-Sohle und an der Strahlenschutzmauer der MAW-Einlagerungskammer auf der 511-m-Sohle (bis 1998) gemessen. Es fanden 4 bis 7 Messungen pro Jahr statt, im Allgemeinen 6 Messungen pro Jahr. Die folgende Tabelle 5.3.1 zeigt die Verteilung der Messwerte der Ortsdosisleistung über den jeweiligen Messzeitraum pro Messstelle in der Grube. Dabei wurde unterschieden nach Bereichen innerhalb der Grube, in denen ein häufiger Aufenthalt von Beschäftigten angenommen wird, und anderen Bereichen, die nicht allgemein zugänglich bzw. in denen keine regelmäßig täglichen oder wöchentlichen Tätigkeiten durchzuführen waren und in denen daher nur ein kurzer Aufenthalt wahrscheinlich ist. Separat sind in den Tabellen 5.3.2 und 5.3.3 die Verteilung der Messwerte in der Beschickungskammer 8a auf der 490-m-Sohle und vor der Strahlenschutzmauer auf 511-m-Sohle vor der MAW-Kammer aufgelistet, für die ebenfalls nur ein begrenzter Aufenthalt wahrscheinlich ist.

Tab. 5.3.1: Verteilung der Messwerte der Ortsdosisleistung in nSv/h über den jeweiligen Messzeitraum pro Messstelle in der Grube

Messort	Teufe (m)	Messzeit	Anzahl	Messwerte (nSv/h)		
				Mittelwert	Minimum	Maximum
Häufiger Aufenthalt anzunehmen						
Auslaugversuchsfeld	490	1985-2008	140	22	10	80
Kammer 8a, 490 m	490	1980-2008	167	12	9	60
PTB-Messlabor	490	2007-2008	12	6	5	9
Ganzkörperzähler	490	1985	2	8	7	8
AVR-Strecke	750	1980-1990	59	8	6	12
Füllort 750 m	750	1980-2008	167	18	13	27
Kammer 1 (Na2)	750	1980-1990	59	18	14	24
Kammer 2 (Na2)	750	1980-1982	11	14	10	30
PTB-Messplatz	775	1980-1990	59	5	3	8
MAW 800 m	800	1987-2007	125	28	11	42
HAW nördlich	800	1986-2007 ¹	114	32	25	38
HAW südlich	800	1994, 1999	12	33	30	38
HAW nördlich	800	1994, 1999	12	29	28	31
HAW südlich	800	1986-2007 ¹	114	29	21	33
Füllort 800 m	800	1986-2008	132	12	10	18
US-Feld Bl. 3	800	1984-1990	39	14	10	19
US-Feld Bl. 4	800	1984-1990	39	14	9	23
Vor der Ortsbrust	800	1984	2	12	12	12
Füllort 850 m	850	1987-2008	125	10	8	12
Tiefenaufschluss	875	1984-1990	34	14	10	18
Füllort 925 m	925	1986-2007	122	5	3	7
PTB-Messlabor	925	1989-2006	105	5	3	9
Nur kurzer Aufenthalt wahrscheinlich						
Kammer 7, 725 m	725	1980-2008	162	136	15	400
Kammer 7, 725 m	725	1983	5	232	220	240
Kammer 4, vor der Mauer	750	1980-2008	167	66	9	230
Kammer 5	750	1980-2003	138	4.273	60	25.000
Kammer 5	750	2004-2008	30	47	11	71
Kammer 6	750	1980-1981	7	34.040	280	80.000
Kammer 7, 750 m	750	1980-1982	10	35.500	2.000	48.000
Kammer 10	750	1980-1983	19	62	9	90

¹ ohne 1994 und 1999

Es gab 1984 zusätzlich zwei einzelne Messwerte (10 bzw. 15 nSv/h) im Umfeld der Kammer 4, die im Bereich der natürlichen Hintergrundstrahlung in der Grube liegen, für die keine näheren Angaben zum genauen Messort und Messgerät vorliegen.

Tabelle 5.3.1 zeigt, dass bei den meisten Messorten, insbesondere an solchen, an denen eine längere Aufenthaltszeit anzunehmen ist, die Ortsdosisleistung im Bereich der natürlichen Hintergrundstrahlung der Grube liegt. Diese ist deutlich niedriger als die natürliche Ortsdosisleistung über Tage am Ort Remlingen-Asse (ca. 100 nSv/h). Die Ursache liegt zum Einen in der abschirmenden Wirkung des Deckgebirges gegenüber der kosmischen Strahlung und zum Anderen am relativ geringen Gehalt der Salzgesteine der Grube an primordialen Radionukliden mit Ausnahme von Kalium-40. Primordiale Radionuklide sind die natürlichen, langlebigen Radionuklide, die seit Entstehung des Sonnensystems auf der Erde vorhanden sind und im wesentlichen der Uran-238- und Thorium-232-Reihe zuzuordnen sind. Ein großer Anteil der gemessenen Ortsdosisleistungen ist somit auf den natürlichen Gehalt an Kalium-40 im Salz zurückzuführen, der in den Kalisalzen natürlicherweise höher ist als in den Steinsalzen.

Die mit Abstand höchsten Werte wurden in den Einlagerungskammern 5, 6 und 7 auf der 750-m-Sohle gemessen. Die Einlagerungskammern waren Kontrollbereiche und somit Bereiche, in denen nur ein kurzer Aufenthalt von Beschäftigten in der Nacheinlagerungsphase bis zum Verschluss anzunehmen ist. In der Einlagerungskammer 5 wurde 1983 eine Salzabdeckschicht aufgebracht, wodurch sich die ODL, die bereits in den Jahren vorher sank, auf etwa ein Viertel verringerte. Danach verringerte sich die ODL langsam weiter. Aus Gründen der bergmännischen Arbeitssicherheit wurde das Messgerät 2003 an die Kontrollbereichsgrenze der Einlagerungskammer 5 verlegt und 2008 dann weiter in den Zugang der Strecke zur Einlagerungskammer 5, woraufhin nur noch ODL-Werte gemessen wurden, die der natürlichen Hintergrundstrahlung im Steinsalz entsprechen. In der Einlagerungskammer 6 auf der 750-m-Sohle wurde 1980 die ODL vor einer gestapelten Wand aus Fässern gemessen. 1981 wurde die Kammer verschlossen, und danach wurden die Messungen eingestellt. In der Einlagerungskammer 7 auf der 750-m-Sohle fanden Messungen im Nahbereich der Fässer statt. Mit der weiteren Verfüllung der Kammer mit Salzhaufwerk wurde die Messstelle an den Eingang verlegt, und nach der Erstellung des Kammerverschlusses wurden auch hier die Messungen eingestellt.

In der Einlagerungskammer 7 auf der 725-m-Sohle wurde 1996 auf die eingelagerten Fässer eine Salzabdeckung aufgebracht. Hierdurch wurde die Ortsdosisleistung deutlich gesenkt. Werte, die höher als die natürlichen Hintergrundstrahlung im Salzgestein lagen, wurden ansonsten noch unmittelbar vor dem Verschlussbauwerk der Einlagerungskammer 4 auf der 750-m-Sohle gemessen (Tabelle 5.3.1).

In der Beschickungskammer 8a auf der 490-m-Sohle wurden 1985 zusätzlich zu der seit 1980 bestehenden Messstelle (siehe Wert in Tabelle 5.3.1) elf weitere Messstellen zur Messung der Ortsdosisleistung eingerichtet, da diese Beschickungskammer direkt über der nicht begehbaren Einlagerungskammer 8a auf der 511-m-Sohle für mittelradioaktive Abfälle liegt. Diese wird zwangsbelüftet, wobei der Nahbereich der Abluftanlage als Überwachungsbereich ausgewiesen ist. Diese Messwerte von 1985 bis 2008 sind in Tabelle 5.3.2 zusammengefasst.

Tab. 5.3.2 Verteilung der Messwerte der Ortsdosisleistung pro Messstelle in der Beschickungskammer 8a auf der 490-m-Sohle (1985-2008)

Messstelle	Anzahl der Messungen	Messwerte (nSv/h)		
		Mittelwert	Minimum	Maximum
M1	141	64	15	300
M2	136	53	24	120
M3	141	11	9	18
M4	140	187	10	2.800
M5	140	631	30	1.700
M6	141	120	10	750
M7	140	60	19	220
M8	141	15	8	32
M9	138	917	280	1.800
M10	141	102	10	550
M11	141	13	10	18

Die Strahlenschutzmauer auf der 511-m-Sohle trennt die MAW-Einlagerungskammer 8a vom übrigen Grubengebäude. Direkt vor dieser Mauer waren sechs Messstellen eingerichtet, eine weitere Messstelle (M6) befand sich direkt an dem Probeentnahmerohr in der Mauer. Zusätzlich wurde die natürliche Umgebungsstrahlung für die Messungen in einer Nische in der Nähe der Strahlenschutzmauer gemessen (M8). Die Verteilung dieser Messwerte von 1985 bis 1998 ist in Tabelle 5.3.3 zusammengefasst. Der Zugang zu der Strahlenschutzmauer erfolgte über ein enges Bohrloch von der 490-m-Sohle aus. 1998 wurde der Vorraum vor der Strahlenschutzmauer mit Beton verfüllt. Weitere Messungen waren danach nicht mehr möglich.

Tab. 5.3.3 Verteilung der Messwerte der Ortsdosisleistung pro Messstelle vor der Strahlenschutzmauer auf der 511-m-Sohle (1985-1998)

Messort	Anzahl	Messwerte (nSv/h)		
		Mittelwert	Minimum	Maximum
M1	81	2.085	1.000	4.500
M2	81	2.627	1.200	5.000
M3	81	2.095	1.000	4.000
M4	81	1.612	600	3.800
M5	81	972	500	2.500
M6	81	6.714	2.600	14.000
M7	81	1.816	800	4.000
M8	81	24	20	40

Zusätzlich gibt es einzelne Messergebnisse von 1985: am Fenster zu der Einlagerungskammer 8a (15 $\mu\text{Sv/h}$), am Saugstutzen (120 $\mu\text{Sv/h}$), auf der Betonmauer (35 $\mu\text{Sv/h}$) und im Abbau 8a auf der 532-m-Sohle auf dem Versatz, unmittelbar unter der Firste (1 $\mu\text{Sv/h}$). Der Abbau 8a der 532-m-Sohle liegt direkt unter der MAW-Kammer 8a der 511-m-Sohle. Diese Messungen wurden einmalig durchgeführt, um maximal mögliche Ortsdosisleistungen abschätzen zu können. Nach Angaben des damaligen Strahlenschutzbeauftragten der Schachtanlage II ist für diese Messpositionen anzunehmen, dass kein häufiger Aufenthalt von Beschäftigten stattfand und diese Orte nur zu Mess- und Kontrollzwecken kurzzeitig betreten wurden.

Die akkumulierte Gammaortsdosis wurde ab 1975 mit Thermolumineszenz-Dosimetern (TLD) im Grubengebäude, auf dem Gelände der SchachtanlageASSE über Tage (ab 1978) und am Zaun bzw. außerhalb des Zaunes um das Gelände gemessen. Dabei fanden an jeweils mehreren Messorten halbjährlich Messungen mit Doppeldosimetern statt, wobei der Mittelwert eines Dosimeterpaares zur Ermittlung der Ortsdosis verwendet wurde. Aus diesen Messwerten wurde die Ortsdosis für ein Kalenderjahr (8.760 Stunden pro Jahr) berechnet, indem bei Überlappungen der Messintervalle die Ortsdosis anteilig berücksichtigt wurde. Tabelle 5.3.4 zeigt die Verteilung der Werte der jährlichen Ortsdosis in mSv, die in der Grube ermittelt wurden:

Tab. 5.3.4: Verteilung der errechneten Werte der jährlichen Ortsdosis in der Grube pro Messstelle über den jeweiligen Messzeitraum

Teufe (m)	Messstellenplan	Messstelle	Messzeit	Anzahl	Ortsdosis (mSv/Jahr)		
					Mittelwert	Minimum	Maximum
490	GMMP-TLD-490-01	TLD1	1977-2008	32	0,08	0,03	0,30
490	GMMP-TLD-490-01	TLD2	1977-2008	32	0,08	0,05	0,19
511	GMMP-TLD-511-01	TLD1 ^a	1980-1997	18	87,07	28,84	191,77
511	GMMP-TLD-511-01	TLD2 ^a	1980-1997	18	15,54	4,43	34,78
750	GMMP-TLD-750-01	TLD1	1980-1982	2	0,02	0,00	0,04
750	GMMP-TLD-750-02	TLD1	1978-1983	5	0,02	0,01	0,04
750	GMMP-TLD-750-03	TLD1	1977-2008	32	0,19	0,06	1,15
750	GMMP-TLD-750-01	TLD2	1980-1982	3	0,27	0,21	0,30
750	GMMP-TLD-750-01	TLD3	1978-2006	27	0,05	0,03	0,11
775	GMMP-TLD-775-01	TLD1 ^b	1989-2008	20	1,30	0,93	1,47
775	GMMP-TLD-775-01	TLD2	1986-2006	21	0,03	0,01	0,07
800	GMMP-TLD-800-01	TLD1	1988-1993	6	0,25	0,21	0,28
800	GMMP-TLD-800-02	TLD1	1988-1993	6	0,17	0,13	0,21
800	GMMP-TLD-800-03	TLD1	1987-2008	22	0,09	0,06	0,13
800	GMMP-TLD-800-04	TLD1	1984-1985	2	0,15	0,11	0,18
800	GMMP-TLD-800-01	TLD10	1986-2007	22	0,25	0,17	0,33
800	GMMP-TLD-800-01	TLD2	1988-1993	6	0,26	0,24	0,28
800	GMMP-TLD-800-02	TLD2	1988-1993	6	0,13	0,10	0,17
800	GMMP-TLD-800-04	TLD2	1984-2007	24	0,09	0,06	0,15
800	GMMP-TLD-800-01	TLD3	1988-1993	6	0,22	0,18	0,24
800	GMMP-TLD-800-02	TLD3	1988-1993	6	0,12	0,10	0,15
800	GMMP-TLD-800-01	TLD4	1988-1993	6	0,21	0,18	0,23
800	GMMP-TLD-800-02	TLD4	1987-2007	21	0,24	0,09	0,41
800	GMMP-TLD-800-01	TLD5	1988-1993	6	0,21	0,18	0,24
800	GMMP-TLD-800-01	TLD6	1988-1993	6	0,22	0,16	0,27
800	GMMP-TLD-800-01	TLD7	1988-1993	6	0,21	0,14	0,25
800	GMMP-TLD-800-01	TLD8	1988-1993	6	0,21	0,16	0,27
800	GMMP-TLD-800-01	TLD9	1986-2007	22	0,22	0,14	0,27
850	GMMP-TLD-850-01	TLD1	1988-2008	21	0,09	0,06	0,12
925	GMMP-TLD-925-01	TLD1	1988-2007	20	0,04	0,01	0,09
925	GMMP-TLD-925-01	TLD2	1989-2006	18	0,06	0,02	0,17
925	GMMP-TLD-925-01	TLD3	1989-2006	18	0,03	0,01	0,08

^a Messstellen an der Strahlenschutzmauer vor Kammer 8a, die nur zu Mess- und Kontrollzwecken kurzzeitig betreten wurden.

^b Messstelle im Kaliflöz

Durchschnittswerte von mehr als 1 mSv/Jahr wurden nur auf der 511-m-Sohle vor der Strahlenschutzmauer (der Messort GMMP-TLD-490-01/TLD1 in der Tabelle 5.3.4 entspricht der Messstelle M6 in Tabelle 5.3.3) und an einer Messstelle auf der 775-m-Sohle gemessen. Diese Messstelle liegt im Kaliflöz (Carnallit). Die erhöhte Ortsdosis wird durch das natürliche K-40 verursacht.

Die Ortsdosis am Zaun (bzw. in der Umgebung) der Anlage war stets kleiner als 1,1 mSv im Kalenderjahr. Sie betrug im Durchschnitt 0,8 mSv/Jahr (bzw. 0,7 mSv/Jahr). Innerhalb des Geländes über Tage betrug die Ortsdosis ebenfalls im Durchschnitt 0,8 mSv/Jahr, wobei Jahreswerte bis zu 3,5 mSv auftraten. Die maximalen Messwerte traten an der Messstelle B2 auf, an der während der Einlagerungszeit zwischen 1975 und 1978 relativ hohe Werte gemessen wurden, wobei die Ortsdosis offensichtlich durch die Einlagerungsvorgänge beeinflusst wurde.

5.4 Messungen der Abluft

Der Strahlenschutzbeauftragte der Schachtanlage ASSE II hat umfangreiche Datensätze zu den vom Betreiber HMGU der Schachtanlage Asse II seit den 70er Jahren durchgeführten Messungen in Form mehrerer Exceltabellen an das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) übergeben. Danach hat der damalige Betreiber der Schachtanlage ASSE II an zahlreichen strahlenschutz-relevanten Orten im Bergwerk selbst („innerbetriebliche Strahlenschutzüberwachung“), im Abwetter der Schachtanlage („Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwetter“) sowie in der Umgebung der Anlage („Immissionsüberwachung“) Messungen zur Bestimmung der spezifischen Aktivitäten verschiedener Radionuklide bzw. Radionuklidgruppen durchgeführt. Messverfahren, Messergebnisse und – soweit möglich – eine Bewertung der messtechnischen Qualität sind im Folgenden nuklid- bzw. nuklidgruppenbezogen dargestellt.

Tritium (H-3)

Seit 1982 führte das Bundesgesundheitsamt, seit 1989 das BfS (die Organisationseinheit des Bundesgesundheitsamtes wurde dem BfS bei dessen Errichtung zugeordnet) im Auftrag des Betreibers der Schachtanlage Asse II radiochemische Analysen an Proben zur Bestimmung der Aktivitätskonzentration von Tritium im Abwetter der Schachtanlage Asse II (Diffusor Schacht 2) durch. Die Bestimmung von H-3 erfolgt anhand von Monatsproben, die kontinuierlich mit repräsentativen Teilen des Abwetters beaufschlagt wurden. Während bis Ende 1982 als Sammelmedium Silicagel- und Natronlauge genutzt wurde, wird ab 1983 ein Molekularsieb als Sammelmedium eingesetzt. Tritium wird dabei in der chemischen Form von Wasser (HTO) bestimmt.

Parallel dazu führte der Betreiber HGMU der Schachtanlage Asse II eigene H-3-Bestimmungen im Abwetter sowie in der Grubenluft durch. Dazu wurde die Probe über das Kondensat der Luftfeuchte gewonnen, bei dem ein repräsentativer Teil des Abwetters über ein Kühlgerät geleitet wird. Die Aktivitätskonzentration des Radionuklids Tritium in der so gewonnenen Kondensatprobe wird anschließend mittels Flüssigkeitsszintillationsmessung bestimmt. Im Gegensatz zum Probeentnahmeverfahren des BfS beträgt das Probeentnahmeintervall des Betreibers der Schachtanlage Asse II eine Woche.

Zur Bilanzierung der Aktivitätsableitung von Tritium mit dem Abwetter werden die Messergebnisse des BfS herangezogen.

Die Qualitätsüberprüfung der Eigenmessungen des Betreibers HMGU für das Radionuklid Tritium kann anhand eines Vergleichs der im Abwetter (Diffusor Schacht 2) sowohl von ihm als auch vom BfS ermittelten Messwerten vorgenommen werden. Abbildung 5.4.1 zeigt, dass die vom Betreiber HGMU sowie vom ehemaligen Bundesgesundheitsamt bzw. ab 1989 vom BfS ermittelten Aktivitätskonzentrationen seit dem Jahr 1982 nahezu identisch sind. Die abweichenden Messwerte in den Jahren 1985 und 1992 können beim Betreiber HMGU auf eine Verfälschung der Messwerte durch Umgebungsluft zurückgeführt werden. Die abweichenden maximalen Messwerte um das Jahr 1985 sind auf eine unzureichende Dekontamination des Kühlgerätes zurückzuführen.

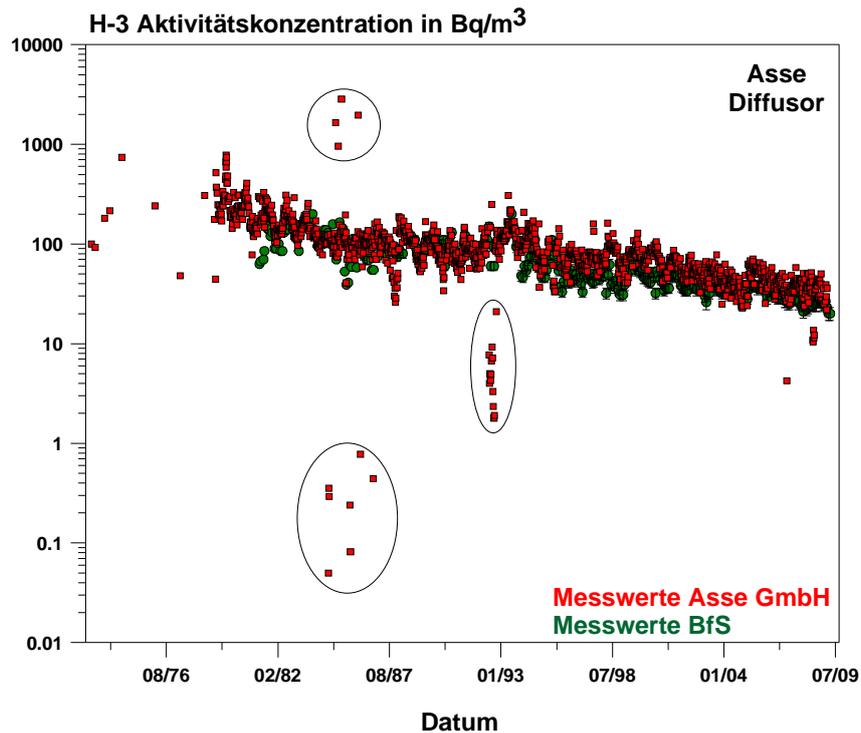


Abb. 5.4.1: Zeitliche Verteilung der vom Betreiber der Schachtanlage Asse II und dem Bundesgesundheitsamt bzw. BfS im Diffusor ermittelte Aktivitätskonzentration von Tritium in Bq/m^3

Aufgrund nahezu identischer Messergebnisse des BfS und des Betreibers HMGU der Schachtanlage Asse II im Diffusor geht die Projektgruppe GM Asse davon aus, dass auch die Messungen der innerbetrieblichen Strahlenschutzüberwachung für das Radionuklid Tritium belastbar sind.

Da bei der routinemäßigen Messung des Radionuklids H-3 nur der anorganische Anteil an Tritium (HTO) erfasst wird, wurden in den Jahren 1978, 1979, 1982, 1983 und 2010 vom BfS zusätzlich Untersuchungen zur Bestimmung des organischen Anteils an Tritium (HT) im Abwetter der Schachtanlage Asse II durchgeführt. Die Ergebnisse dieser stichprobenartigen Messungen zeigten, dass der organische Anteil im Gegensatz zum anorganischen Anteil an H-3 vernachlässigt werden kann.

Kohlenstoff-14 (C-14)

Seit 1982 führt das BfS (bis 1989 Bundesgesundheitsamt) im Auftrag des Betreibers HMGU radiochemische Analysen an Proben zur Bestimmung der Aktivitätskonzentration von Kohlenstoff-14 im Abwetter der Schachtanlage Asse II (Diffusor Schacht 2) durch. Die Bestimmung von C-14 erfolgt anhand von Monatsproben, die kontinuierlich mit einem repräsentativen Teil des Abwetters beaufschlagt wurden. Während bis Ende 1982 als Sammelmedium Silicagel- und Natronlauge genutzt wurde, wird ab 1983 als Sammelmedium Molekularsieb eingesetzt. Kohlenstoff-14 lässt sich auf diese Weise in der chemischen Form von Kohlenstoffdioxid ($^{14}\text{CO}_2$) bestimmen.

Da bei der routinemäßigen Bestimmung des Radionuklids C-14 nur der anorganische Anteil von Kohlenstoff-14 ($^{14}\text{CO}_2$) erfasst wird, wurden in den Jahren 1978, 1979, 1982, 1983 und 2010 vom Bundesamt für Strahlenschutz zusätzlich Untersuchungen zur Bestimmung des

organischen Anteils an Kohlenstoff-14, d. h. Kohlenstoff-14 als Kohlenstoffmonoxid (^{14}CO), Methan ($^{14}\text{CH}_4$) und höheren Kohlenwasserstoffen, im Abwetter der ASSE durchgeführt. Die Ergebnisse dieser stichprobenartigen Messungen zeigten, dass der organische Anteil im Gegensatz zum anorganischen Anteil an C-14 vernachlässigt werden kann.

Vom Betreiber HMGU selbst wurden keine C-14-Bestimmungen durchgeführt.

An Schwebstoffen gebundene Radionuklide

Eine Reihe von Radionukliden wird nicht gasförmig abgeleitet, sondern lagert sich im Abwetter an dort vorhandene Schwebstoffe an. Zusätzlich können durch manuelle Tätigkeiten in den Einlagerungskammern z. B. während der Einlagerungszeit radioaktive Stäube und Partikel freigesetzt werden, die ebenfalls über das Abwetter in die Umwelt gelangen. Zur Bestimmung der Ableitung dieser radioaktiven Aerosolpartikel mit dem Abwetter wird ein repräsentativer Anteil des Abwetters über Schwebstofffilter geleitet. Die Aktivität der abgelagerten Radionuklide auf dem Filtermaterial wird durch verschiedene physikalische Messmethoden bestimmt und durch Multiplikation mit der Abwettermenge die abgeleitete Aktivität berechnet. Der Betreiber der Schachanlage Asse II führt hierzu im Abwetter der Schächte 2 und 4, im Zaunbereich sowie an der Druckerhöhungsstation Probeentnahmen und anschließende Analysen durch. Das Probeentnahmeintervall betrug 14 Tage. Folgende Messungen wurden durchgeführt:

- Bestimmung der Gesamtalpha-Aktivitätskonzentration (langlebig, kurzlebig);
- Bestimmung der Gesamt-Beta-Aktivitätskonzentration (langlebig, kurzlebig);
- Bestimmung der Aktivitätskonzentration von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden.

In Abbildung 5.4.2 und 5.4.3 sind die Ergebnisse der Gesamtalpha- und Gesamtbeta-Messung für die oben angeführten Beprobungsorte seit den 1970er Jahren dokumentiert. Für diese Daten hat das BfS keine Kontrollmessungen durchgeführt.

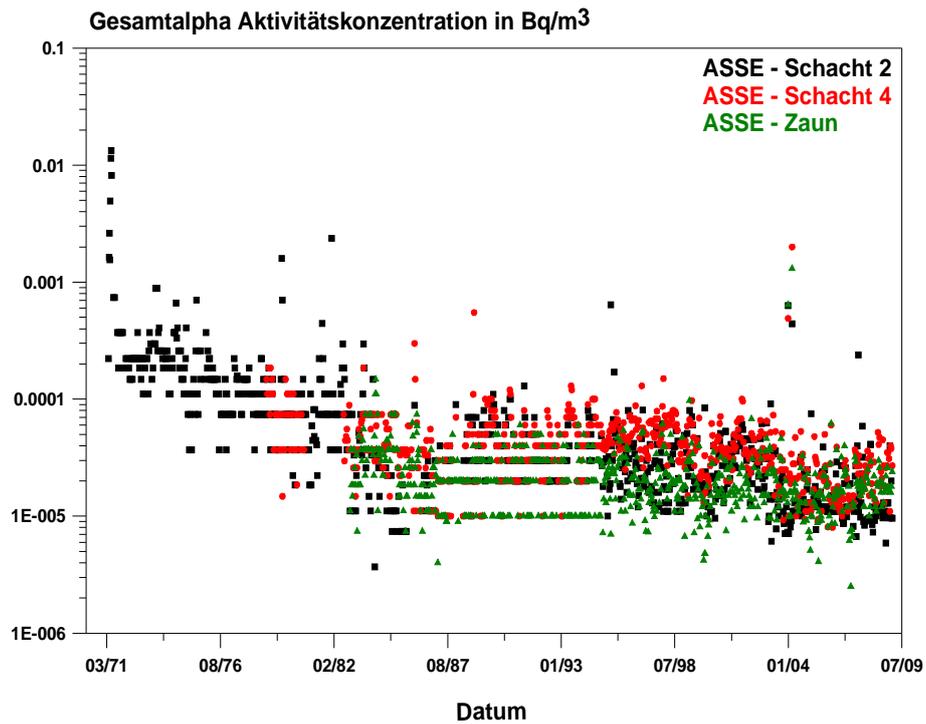


Abb. 5.4.2: Zeitliche Verteilung der vom Betreiber der Schachtanlage Asse II ermittelten Gesamtalpha-Aktivitätskonzentrationen in Bq/m³

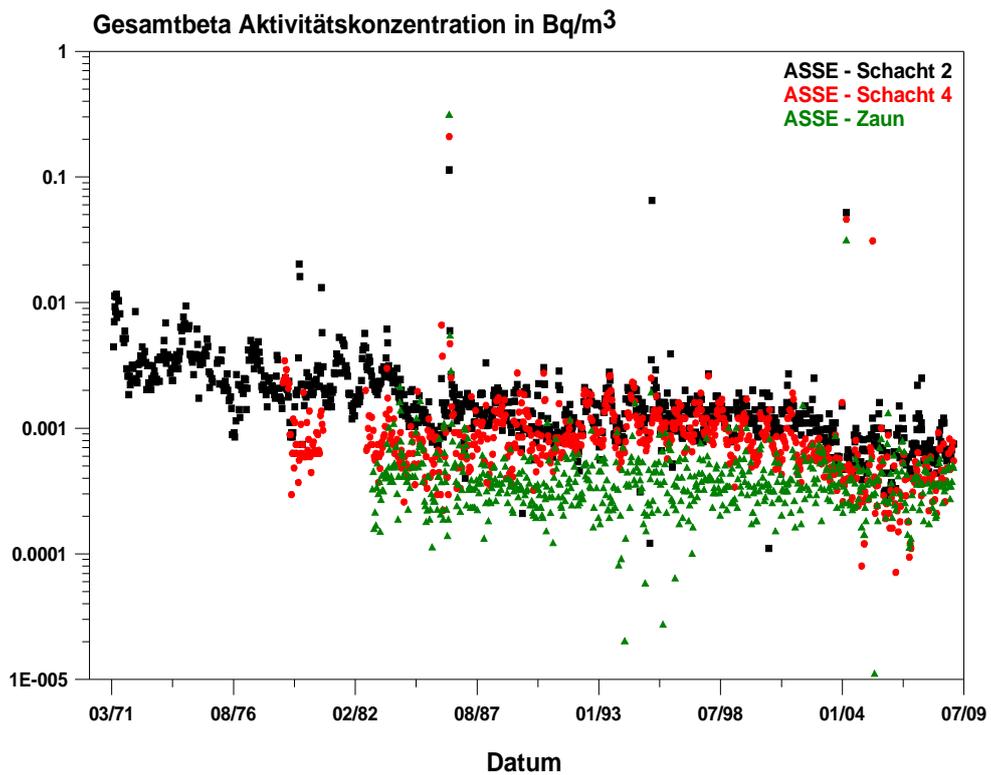


Abb. 5.4.3: Zeitliche Verteilung der vom Betreiber der Schachtanlage Asse II ermittelte Gesamtbeta-Aktivitätskonzentrationen in Bq/m³

Die im Zuge der gammaspektrometrischen Analysen nachgewiesenen Aktivitätskonzentrationen von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden sind nahezu ausschließlich auf die natürlichen Radionuklide Be-7 und Pb-210 (Radonfolgeprodukt siehe Kapitel 5.5) und nur in Ausnahmefällen auf das künstliche Radionuklid Cs-137 zurückzuführen. Exemplarisch sind hierzu in Abbildung 5.4.4 die Messergebnisse für die Aktivitätskonzentrationen der Radionuklide Pb-210 und Be-7 für den Abwetterschacht 2 (Diffusor) seit den 1970er Jahren dargestellt.

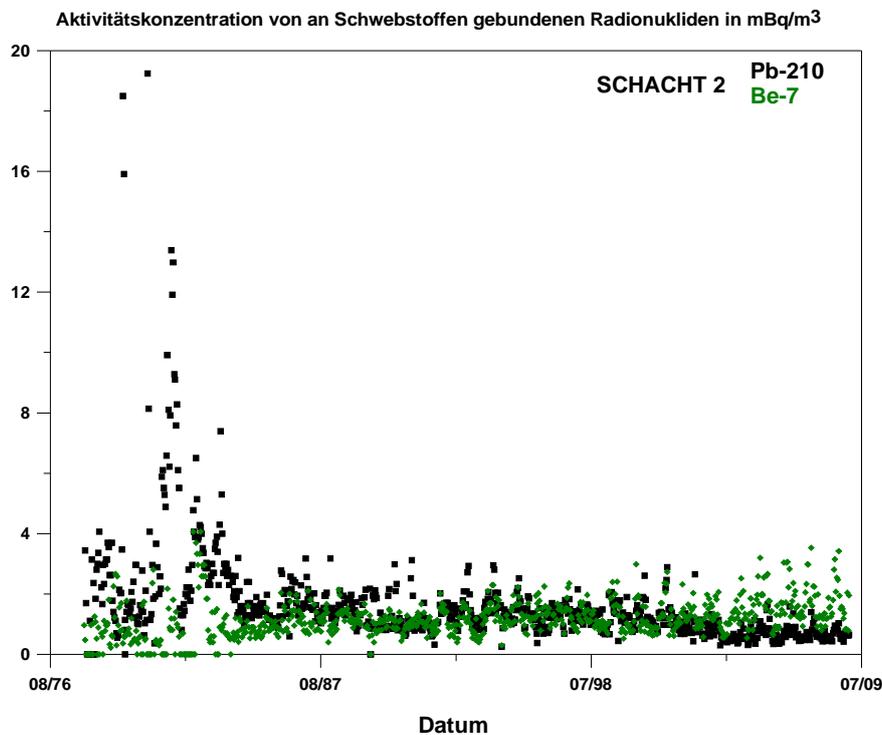


Abb. 5.4.4: Zeitliche Verteilung der vom Betreiber der Schachanlage Asse II ermittelte Aktivitätskonzentration von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden in mBq/m³

5.5 Messungen der Aktivität in der Grubenluft

In der Grubenluft fanden Messungen statt von

- Luftstaub,
- Radon,
- Tritium.

5.5.1 Luftstaubmessungen

Die Überwachung der Grubenluft erfolgt seit 1969 über Luftstaubmessungen an mehreren Stellen im Grubengebäude. Dazu wurden über eine Sammelzeit von 15 Minuten etwa 20 m³ Luft über ein Großflächenfilter gesaugt. Die Alpha- und Betaaktivität der auf dem Filter gesammelten Aerosole wurden direkt danach sowie ca. 7 Tage später mit einem Großflächendurchflusszähler bestimmt. Die Ergebnisse der zweiten Messung wurden langlebigen Radionukliden zugeordnet, während man aus der Differenz der ersten und zweiten Messung die Aktivität kurzlebiger Radionuklide bestimmen konnte. Anhand des Abklingverhaltens konnte gezeigt werden, dass die kurzlebige Aerosolaktivität auf die kurzlebigen Folgeprodukte des

Radons zurückzuführen sind. Die Messwerte der zweiten Messung lagen im Allgemeinen im Bereich der Nachweisgrenze.

Darüber hinaus wurde ab Dezember 1976 stichprobenartig die Grubenluft nuklidspezifisch auf langlebige Aerosolaktivität untersucht. Hierzu wurden ca. 30.000 m³ Luft über ein Spezialfilter geleitet. Die Sammlung erfolgte halbjährlich und erstreckte sich jeweils über einen Zeitraum von etwa 20 Tagen. Tabelle 5.5.1 zeigt die gemessenen Nuklide mit den jeweils maximalen Werten der gemessenen Aktivitätskonzentration.

Tab. 5.5.1 In der Grubenluft nachgewiesene Radionuklide mit der maximal gemessenen Aktivitätskonzentration

Radionuklid	Maximale Aktivitätskonzentration (mBq/m³)
Be-7	2,3
K-40	2,4
Mn-54	0,01
Co-58	0,008
Co-60	2,1
Zr-95	1,2
Nb-95	2,1
Ru-103	0,54
Ru-106	0,75
Sn-126	0,008
Sn-126/Sb-126m	0,05
Sb-125	0,5
Sb-126m	0,007
Te-125m	27,8
I-125	25,9
I-131	0,28
Cs-134	0,25
Cs-137	1,6
Ba-140/La-140	0,87
Ce-141	0,69
Ce-144	0,91
Nd-147	1,5
Pb-210	353
Ra-226	0,063
Pu-238	0,13
Pu-239/240	0,12
Am-241	< Nachweisgrenze
Sr-90	< Nachweisgrenze

Die Ergebnisse der Auswertung zeigen, dass die langlebige Aerosolaktivität weitgehend auf Pb-210, ein längerlebigeres Radonfolgeprodukt, zurückzuführen ist. Diese Ergebnisse der nuklidspezifischen Analysen der Grubenwetter im Grubengebäude sind in Höhe und Zusammensetzung vergleichbar den nuklidspezifischen Messungen der Abluft aus der Schachanlage Asse.

Neben der Beprobung der Grubenluft fanden auch über Probeentnahmerohre Messungen in den Einlagerungskammern 4, 10 und 12, jeweils auf der 750-m-Sohle, statt, ebenso in der Einlagerungskammer 8a für mittelradioaktiven Abfall auf der 511-m-Sohle. Die Beprobung erfolgte im Allgemeinen monatlich oder zweimonatlich über eine Sammelzeit von ca. 15 Minuten. Die Tabellen 5.5.2 bis 5.5.5 enthalten die Verteilung der seit 1969 durchgeführten Luftstaubmessungen an unterschiedlichen Probenentnahmeorten in der Grube. Zusätzlich wurden die Probeentnahmeorte bezüglich eines möglichen Aufenthaltes der Beschäftigten von der Projektgruppe GM Asse des BfS eingeschätzt.

Tab. 5.5.2: Verteilung der Messwerte der Aktivitätskonzentration im Luftstaub (Alpha kurzlebig) in Bq/m³ über den jeweiligen Messzeitraum pro Messstelle

Messort	Teufe (m)	Messzeitraum	Anzahl	Aktivitätskonzentration (Bq/m ³)		
				Mittelwert	Minimum	Maximum
Häufiger Aufenthalt möglich						
Blindschacht III 490 m	490	1977-2008	361	88,8	7,8	400
Kammer 4, Querschlag Richtstr.	490	1985-2008	496	60,6	13,0	225
MAW-Beschickungskammer 8a	490	1970-2008	673	78,7	6,3	480
Richtstrecke	490	1970-1971	27	80,8	30,0	333
Richtstrecke	490	1971-1974	143	72,9	22,9	189
Richtstrecke	490	1974-1975	26	106,7	34,0	233
Richtstrecke	490	1975-2008	928	65,9	9,5	340
Wetterstrecke	490	1970-2008	1.631	60,3	10,0	466
AVR-Strecke	750	1977-1984	56	16,5	5,9	61
Blindschacht II 750 m	750	1971	6	16,4	8,5	26
Füllort 750 m	750	1970-2008	1.119	12,5	1,7	130
Kammer 10, vor der Kammer	750	1993-2008	525	118,5	6,1	1.000
Kammer 12, vor der Kammer	750	1995-2008	83	73,5	5,4	410
Kammer 12, vor der Mauer	750	1975-1994	148	142,4	7,0	1.065
Kammer 4, vor der Kammer	750	1971-2008	325	165,6	6,3	5.061
Rollloch I, südl.Richtstr. nach Westen	750	1993-1994	49	92,0	18,0	485
Rollloch II, südl.Richtstr. nach Westen	750	1993	3	94,3	17,0	231
Aufenthalt während der Ein- und Umlagerungszeit möglich						
Kammer 7, 725 m	725	1975-1980	145	46,2	5,6	348
Kammer 1	750	1970-1972	144	167,0	28,9	2.516
Kammer 10, Befahrung	750	1974-1983	281	160,6	25,9	814
Kammer 11	750	1976	3	36,9	21,8	59
Kammer 12 (Eingang)	750	1973-1974	98	619,1	159,8	5.284
Kammer 2	750	1972-1973	8	1.863,4	166,5	8.880
Kammer 2 (Na2)	750	1976-1980	287	42,4	5,6	205
Kammer 2/12, Durchhieb	750	1972-1973	107	351,9	13,0	8.880
Kammer 5	750	1972-1975	69	36,1	5,9	211
Kammer 5 (Eingang)	750	1972-1980	153	58,4	7,8	405
Kammer 6	750	1978	4	74,2	51,4	100
Kammer 6/7	750	1979-1982	122	80,4	8,9	559
Kammer 7, 750 m	750	1977-1982	140	51,3	8,5	295
Kammer 8	750	1972-1977	99	802,5	13,0	5.750
Nur kurzer Aufenthalt wahrscheinlich						
Auslaugversuchsfeld	490	1984-2008	300	67,4	6,0	280
Kammer 8a, Abluft	490	1972-2008	636	18,0	0,1	150
Strahlenschutzmauer	511	1971-1998	520	74,9	1,1	390
Rollloch Kammer 6	700	1982-2008	1.034	84,1	9,5	1.000
Kammer 7, 725 m	725	1981-2008	1.214	121,1	2,5	12.000
Kammer 2 (Na2)	750	1983-1984	35	63,0	12,6	648
Kammer 5	750	2004-2008	170	159,9	12,0	6.000
Kammer 5 (Eingang)	750	1981-2003	985	60,4	5,0	940
Aus der Beprobung verschlossener Einlagerungskammern						
Kammer 8a, 511 m	511	1972-2008	626	58,5	0,2	169
Blindschacht III 725 m, Abwetter aus Ka.11	725	1973-2003	221	909,0	5,2	9.000
Kammer 10	750	1984-2008	271	35.718,5	57,0	180.000
Kammer 12	750	1975-2005	212	5.935,9	11,8	50.838
Kammer 4	750	1970-2001	278	61.221,9	27,0	976.800

Tab. 5.5.3 Verteilung der Messwerte der Aktivitätskonzentration im Luftstaub (Betastrahlung kurzlebig) in Bq/m³ über den jeweiligen Messzeitraum pro Messstelle

Messort	Teufe (m)	Messzeit- raum	Anzahl	Aktivitätskonzentration (Bq/m ³)		
				Mittelwert	Minimum	Maximum
Häufiger Aufenthalt möglich						
Blindschacht III 490 m	490	1977-2008	361	107,7	7,0	620,0
Kammer 4, Querschlag Richtstr.	490	1985-2008	496	81,1	20,5	300,0
MAW-Beschickungskammer 8a	490	1970-2008	673	83,7	5,6	640,0
Richtstrecke	490	1970-1971	27	64,6	29,2	233,1
Richtstrecke	490	1971-1974	143	58,9	15,2	125,8
Richtstrecke	490	1974-1975	26	94,5	31,5	236,8
Richtstrecke	490	1975-2008	928	76,6	10,7	550,0
Wetterstrecke	490	1970-2008	1.631	69,8	14,1	629,0
AVR-Strecke	750	1977-1984	56	17,5	5,9	74,0
Blindschacht II 750 m	750	1971	6	14,9	9,6	25,2
Füllort 750 m	750	1970-2008	1.119	15,8	2,0	160,0
Kammer 10, vor der Kammer	750	1993-2008	525	172,4	5,9	1.200,0
Kammer 12, vor der Kammer	750	1995-2008	83	115,3	8,1	630,0
Kammer 12, vor der Mauer	750	1975-1994	148	138,9	6,3	1.340,0
Kammer 4, vor der Kammer	750	1971-2008	325	216,8	5,9	12.200,0
Rollloch I, südl.Richtstr. nach Westen	750	1993-1994	49	118,1	23,0	693,0
Rollloch II, südl.Richtstr. nach Westen	750	1993	3	121,3	28,0	290,0
Aufenthalt während der Ein- und Umlagerungszeit möglich						
Kammer 7, 725 m	725	1975-1980	145	45,0	5,9	333,0
Kammer 1	750	1970-1972	144	138,2	14,1	2.960,0
Kammer 10, Befahrung	750	1974-1983	281	134,2	24,8	658,6
Kammer 11	750	1976	3	40,0	28,1	59,2
Kammer 12 (Eingang)	750	1973-1974	98	386,7	92,5	4.810,0
Kammer 2	750	1972-1973	8	1.675,2	111,0	7.770,0
Kammer 2 (Na2)	750	1976-1980	287	45,0	6,3	177,6
Kammer 2/12, Durchhieb	750	1972-1973	107	293,8	11,8	7.770,0
Kammer 5	750	1972-1975	69	33,2	5,6	151,7
Kammer 5 (Eingang)	750	1972-1980	153	53,6	5,6	300,8
Kammer 6	750	1978	4	70,4	46,6	85,1
Kammer 6/7	750	1979-1982	122	64,2	9,6	370,0
Kammer 7, 750 m	750	1977-1982	140	55,2	11,8	288,6
Kammer 8	750	1972-1977	99	458,3	14,1	3.774,0
Nur kurzer Aufenthalt wahrscheinlich						
Auslaugversuchsfeld	490	1984-2008	300	86,6	3,0	470,0
Kammer 8a, Abluft	490	1972-2008	636	19,8	0,1	240,0
Strahlenschutzmauer	511	1971-1998	520	71,4	4,1	550,0
Rollloch Kammer 6	700	1982-2008	1.034	107,4	18,5	1.400,0
Kammer 7, 725 m	725	1981-2008	1.214	141,9	4,9	14.000,0
Kammer 2 (Na2)	750	1983-1984	35	59,9	13,3	451,4
Kammer 5	750	2004-2008	170	241,6	26,0	11.000,0
Kammer 5 (Eingang)	750	1981-2003	985	69,7	7,0	960,0
Aus der Beprobung verschlossener Einlagerungskammern						
Kammer 8a, 511 m	511	1972-2008	626	61,9	0,3	280,0
Blindsch. III 725 m, Abwetter aus Ka.11	725	1973-2003	221	838,9	4,1	7.621,0
Kammer 10	750	1984-2008	271	31.524,7	82,0	150.000,0
Kammer 12	750	1975-2005	212	4.667,0	11,5	55.040,0
Kammer 4	750	1970-2001	274	34.555,6	33,0	462.500,0

Tab. 5.5.4 Verteilung der Messwerte der Aktivitätskonzentration im Luftstaub (Alpha-Strahlung langlebig) in Bq/m³ über den jeweiligen Messzeitraum pro Messstelle

Messort	Teufe (m)	Messzeitraum	Anzahl	Aktivitätskonzentration (Bq/m ³)		
				Mittelwert	Minimum	Maximum
Häufiger Aufenthalt möglich						
Blindschacht III 490 m	490	1995-2008	161	0,0066	0,0027	0,0110
Kammer 4, Querschlag Richtstr.	490	1995-2008	276	0,0066	0,0032	0,0110
MAW-Beschickungskammer 8a	490	1995-2008	160	0,0065	0,0028	0,0110
Richtstrecke	490	1995-2008	256	0,0066	0,0028	0,0310
Wetterstrecke	490	1995-2008	527	0,0065	0,0023	0,0120
Füllort 750 m	750	1995-2008	523	0,0065	0,0028	0,0120
Kammer 10, vor der Kammer	750	1995-2008	524	0,0068	0,0004	0,5300
Kammer 12, vor der Kammer	750	1995-2008	83	0,0066	0,0033	0,0110
Kammer 4, vor der Kammer	750	1971-2008	86	0,0085	0,0027	0,0860
Rollloch I, südl.Richtstr. nach Westen	750	1994	1	0,0070	0,0070	0,0070
Aufenthalt während der Ein- und Umlagerungszeit möglich						
Kammer 1	750	1971	1	0,0740	0,0740	0,0740
Kammer 10, Befahrung	750	1983	1	0,0155	0,0155	0,0155
Kammer 12 (Eingang)	750	1974	1	0,0093	0,0093	0,0093
Kammer 2 (Na2)	750	1979	1	0,0337	0,0337	0,0337
Kammer 8	750	1974-1975	3	0,0321	0,0037	0,0740
Nur kurzer Aufenthalt wahrscheinlich						
Auslaugversuchsfeld	490	1984-2008	168	0,0066	0,0027	0,0144
Kammer 8a, Abluft	490	1984-2008	167	0,0068	0,0000	0,0192
Strahlenschutzmauer	511	1995-1998	45	0,0053	0,0027	0,0100
Rollloch Kammer 6	700	1995-2008	580	0,0048	0,0021	0,0120
Kammer 7, 725 m	725	1995-2008	581	0,0049	0,0024	0,0140
Kammer 5	750	2004-2008	170	0,0049	0,0023	0,0086
Kammer 5 (Eingang)	750	1995-2003	358	0,0049	0,0028	0,0110
Aus der Beprobung verschlossener Einlagerungskammern						
Kammer 8a, 511 m	511	1976-2008	211	0,0111	0,0027	0,3286
Blindsch. III 725 m, Abwetter aus Ka.11	725	1987-2003	55	0,0075	0,0017	0,0400
Kammer 10	750	1985-2008	192	0,0087	0,0017	0,1040
Kammer 12	750	1975-2005	84	0,0180	0,0029	0,2800
Kammer 4	750	1970-2001	190	0,0421	0,0041	0,2220

Tab. 5.5.5 Verteilung der Messwerte der Aktivitätskonzentration im Luftstaub (Betastrahlung langlebig) in Bq/m³ über den jeweiligen Messzeitraum pro Messstelle

Messort	Teufe (m)	Messzeit	Anzahl	Aktivitätskonzentration (Bq/m ³)		
				Mittelwert	Minimum	Maximum
Häufiger Aufenthalt möglich						
Blindschacht III 490 m	490	1977-2008	362	0,0154	0,0004	0,0300
Kammer 4, Querschlag Richtstr.	490	1985-2008	497	0,0170	0,0083	0,2800
MAW-Beschickungskammer 8a	490	1969-2008	698	0,0162	0,0022	0,2590
Richtstrecke	490	1969-1971	52	0,0329	0,0019	0,2590
Richtstrecke	490	1971-1974	126	0,0168	0,0022	0,0241
Richtstrecke	490	1974-1975	26	0,0122	0,0122	0,0122
Richtstrecke	490	1975-2008	928	0,0149	0,0063	0,4600
Wetterstrecke	490	1969-2008	1.641	0,0158	0,0009	0,2900
AVR-Strecke	750	1977-1984	56	0,0118	0,0089	0,0152
Blindschacht II 750 m	750	1971	4	0,0167	0,0111	0,0259
Füllort 750 m	750	1969-2008	1.146	0,0168	0,0019	0,2700
Kammer 10, vor der Kammer	750	1993-2008	525	0,0168	0,0014	0,6000
Kammer 12, vor der Kammer	750	1995-2008	83	0,0168	0,0088	0,0390
Kammer 12, vor der Mauer	750	1975-1994	148	0,0139	0,0089	0,0396
Kammer 4, vor der Kammer	750	1971-2008	310	0,0162	0,0019	0,1200
Rollloch I, südl.Richtstr. nach Westen	750	1993-1994	49	0,0190	0,0160	0,1240
Rollloch II, südl.Richtstr. nach Westen	750	1993	3	0,0173	0,0170	0,0180
Aufenthalt während der Ein- und Umlagerungszeit möglich						
Kammer 7, 725 m	725	1975-1980	145	0,0115	0,0089	0,0488
Kammer 1	750	1969-1972	144	0,0192	0,0009	0,1776
Kammer 10, Befahrung	750	1974-1983	280	0,0115	0,0089	0,0411
Kammer 11	750	1976	3	0,0127	0,0122	0,0137
Kammer 12 (Eingang)	750	1973-1974	98	0,0147	0,0041	0,0585
Kammer 2	750	1972-1973	8	0,0229	0,0185	0,0444
Kammer 2 (Na2)	750	1976-1980	287	0,0124	0,0089	0,1643
Kammer 2/12, Durchhieb	750	1972-1973	107	0,0237	0,0185	0,0370
Kammer 5	750	1972-1975	69	0,0200	0,0122	0,0241
Kammer 5 (Eingang)	750	1972-1980	153	0,0113	0,0089	0,0241
Kammer 6	750	1978	4	0,0122	0,0122	0,0122
Kammer 6/7	750	1979-1982	122	0,0101	0,0089	0,0141
Kammer 7, 750 m	750	1977-1982	140	0,0120	0,0089	0,0122
Kammer 8	750	1972-1977	98	0,0184	0,0122	0,1055
Nur kurzer Aufenthalt wahrscheinlich						
Auslaugversuchsfeld	490	1984-2008	299	0,0172	0,0073	0,1300
Kammer 8a, Abluft	490	1972-2008	637	0,0220	0,0003	2,8000
Strahlenschutzmauer	511	1971-1998	514	0,0150	0,0019	0,1765
Rollloch Kammer 6	700	1982-2008	1.034	0,0171	0,0010	0,6600
Kammer 7, 725 m	725	1981-2008	1.214	0,0149	0,0051	0,5500
Kammer 2 (Na2)	750	1983-1984	35	0,0145	0,0144	0,0152
Kammer 5	750	2004-2008	170	0,0157	0,0110	0,3900
Kammer 5 (Eingang)	750	1981-2003	984	0,0144	0,0062	0,3200
Aus der Beprobung verschlossener Einlagerungskammern						
Kammer 8a, 511 m	511	1972-2008	626	0,2015	0,0079	24,8973
Blindschacht III 725 m, Abwetter aus Ka.11	725	1973-2003	220	0,0166	0,0075	0,0860
Kammer 10	750	1984-2008	269	0,1659	0,0110	0,9300
Kammer 12	750	1975-2005	212	0,0738	0,0087	3,5927
Kammer 4	750	1969-2001	302	0,6341	0,0019	6,2804

5.5.2 Radonmessungen

Die Messung der zeitintegrierten Rn-222 Aktivitätskonzentration erfolgt seit 1989 an mehreren Messpunkten mit Elektretdosimetern. In den davorliegenden Jahren ist die Bestimmung der Radon-Aktivitätskonzentration lediglich über die Bestimmung der kurzlebigen Folgeprodukte im Luftstaub möglich (siehe Kapitel 5.5.1). Radonmessungen fanden statt an 21 Messstellen. Dabei war das Messintervall ein bis vier Wochen, in der Regel zwei Wochen. Der geringe Anteil von Radon-220 in der Grubenluft wurde Rn-222 mit zugeordnet und als Gesamtradon ausgewiesen. Aus den langjährigen Messungen wurde ein Gleichgewichtsfaktor von 0,5 ermittelt. Dieser Gleichgewichtsfaktor gibt das Verhältnis der potentiellen Alphaenergiekonzentration der Radonfolgeprodukte einer realen Situation, hier in der SchachanlageASSE II zur idealen Situation an, in der sich ein Gleichgewicht zwischen Radon und Folgeprodukten ohne Störungen, wie Bewetterung einstellt. Tabelle 5.5.6 zeigt die Messorte mit den jeweiligen Jahren, in denen gemessen wurde und die durchschnittliche, minimale sowie maximale Radonaktivitätskonzentration in den Messzeiträumen.

Tab. 5.5.6 Verteilung der Messwerte der Radon-Aktivitätskonzentrationen in Bq/m³ pro Messort über den jeweiligen Messzeitraum

Messort	Teufe (m)	Messzeitraum	Anzahl	Rn-Aktivitätskonzentration (Bq/m ³)		
				Mittelwert	Minimum	Maximum
Hauptgrubenlüfter (HGL)	490	1989-2008	953	63,2	13,8	333,0
HGL Vergl.	490	1991-2008	817	60,1	29,8	299,2
Sattelrichtstrecke	490	2007-2008	55	63,8	35,9	135,4
Blindschacht III	490	1995-2008	649	109,3	2,0	210,8
Kammer 8a Nord	490	1990-2005	723	58,5	3,9	232,1
Grubenwehrraum	511	2007-2008	54	61,0	29,8	87,5
Kammer 8a, Abluft	511	1990-1991	43	63,9	33,1	85,0
Röllloch Wendelstr.	700	1990-1995	235	123,4	48,0	398,7
Kammer 7 Eing.	725	1990-2008	880	62,2	5,4	948,1
Kammer 7 Geländer	725	1997-2008	556	165,5	62,2	1.380,7
Kammer 7 südlicher Stoß	725	1990-2002	586	1.770,1	6,4	7.875,7
Kammer 7 Lüfter	725	1992-2002	460	730,3	69,5	3.149,3
Kammer 7/8 Durchhieb	725	1990-1994	187	30,5	10,8	159,1
Vor Ka.10/Blindschacht 1	750	1993-2008	755	34,1	5,6	155,4
Ka. 9 Umfahrung	750	1993-2008	710	78,1	29,8	234,1
Vor Kammer 12	750	1989-2002	556	111,2	13,8	309,4
Kammer 4	750	1990-1992	135	179,5	25,8	786,9
Füllort	800	1989-2008	885	20,3	1,5	85,5
PTB Messlabor	925	1990-2005	197	16,8	6,0	40,8
Luftüberwachung Zaun	üT	1991-2008	442	13,0	1,1	108,4
Luftüberw. Druckerhöhung	üT	1991-1992	59	10,1	0,7	49,1

Mit einer Ausnahme (Kammer 7 südlicher Stoß auf der 725-m-Sohle) schwankten die Jahresmittelwerte um den langjährigen Mittelwert über die gesamte Messzeit um bis zu einem Faktor von 2, oft auch deutlich weniger. Auf Grund der meist niedrigen Werte traten jedoch auf Grund der statistischen Messfehler teilweise größere Schwankungen in den Wochenwerten auf. Eine jahreszeitliche Schwankung konnte nicht beobachtet werden.

Die Jahresmittelwerte des Hauptgrubenlüfters (HGL) und der HGL-Vergleichsmessungen stimmen gut überein und unterliegen nur geringen Schwankungen: Die Vergleichsmessungen waren im allgemeinen etwas niedriger als die HGL-Messungen.

In der Einlagerungskammer 7 auf der 725-m-Sohle wurde anhand von Messungen festgestellt, dass aus einer Spaltöffnung im Versatz direkt am südlichen Stoß Radon aus den Abfällen in die Kammer entweicht. Die Radonmessungen wurden anfangs in der Nähe des Spaltes am südlichen Stoß durchgeführt. Die Jahresmittelwerte lagen in dieser Zeit zwischen 60 und 200 Bq/m³. Ab September 1996 wurde das Messgerät direkt über dem schwer zugänglichen Spalt positioniert. Dadurch stiegen die Jahresmittelwerte auf Werte zwischen 2700 und 4200 Bq/m³. Um die Anreicherung von Radon in der Kammer 7 zu reduzieren, wurde die Kammer ständig bewettert. Die Kammer 7 wurde zu Kontroll- und Überwachungszwecken und für Besuchergruppen kurzzeitig betreten. Auch Besuchergruppen wurde die Kammer 7 auf der 725-m-Sohle gezeigt, wo sie am Geländer zur Böschung die Abkipptechnik besichtigen konnten. Ein Aufenthalt von Personen ist sowohl vor dem sich in Betrieb befindlichen Lüfter der Kammer 7 als auch beim Lüfteraustrag am Rolloch in der Wendel auf der 700-m-Sohle aus Gründen der Arbeitssicherheit auszuschließen.

Die Übertage in Remlingen-Asse gemessenen Radonkonzentrationen von 10 bis 13 Bq/m³ (Tabelle 5.5.6) entsprechen den in Deutschland gemessenen Außenluftkonzentrationen von Radon.

5.5.3 Tritiummessungen

Messungen der Tritiumaktivitätskonzentration in der Grubenluft werden seit 1972 durchgeführt. Dazu wurde ursprünglich die Luftfeuchte an Kühlbehältern kondensiert, und das Kondensat wurde analysiert. Später erfolgte die Probenahme über Kondensation mittels eines elektrischen Kühlgerätes. Die Messungen erfolgten an bis zu 29 Messstellen.

Neben der Beprobung der Luft in den begehbaren Bereichen der Grube auf Tritium, wurden auch Messungen zur Beprobung der Luft aus verschlossenen Einlagerungskammern durchgeführt. Diese fanden in der Regel alle 2-3 Monate für die Einlagerungskammern 4, 10 und 12 auf der 750-m-Sohle, sowie ab 1978 auch für die Abluft aus der Einlagerungskammer 8a für mittlerradioaktive Abfälle auf der 511-m-Sohle statt. Das gesammelte Tritium lag als tritiiertes Wasser (HTO) vor.

Die Tabelle 5.5.7 enthält die seit 1972 durchgeführten Tritiummessungen an unterschiedlichen Probeentnahmeorten in der Grube. Zusätzlich wurden die Probeentnahmeorte bezüglich der Wahrscheinlichkeit des Aufenthaltes der Beschäftigten von der Projektgruppe GM Asse eingeschätzt.

Der Diffusor, der in der Rubrik "Häufiger Aufenthalt möglich" genannt ist, ist zwar über Tage, aber er spiegelt die Tritium-Konzentration an der Messstelle "Wetterstrecke" auf der 490-m-Sohle wider. Zusätzlich zu den tabellierten Werten gab es am 02.04.1980 noch einen Messwert von 3700 Bq/m³ am Pfeiler Kammer 1/ Kammer 2/Na2, auf der 750-m-Sohle.

Tab. 5.5.7: Verteilung der Messwerte der Tritium-Aktivitätskonzentrationen in Bq/m³ in der Luft pro Messort über den jeweiligen Messzeitraum

Messort	Teufe (m)	Messzeit	Anzahl	Messwerte (Bq/m ³)		
				Mittelwert	Minimum	Maximum
häufiger Aufenthalt möglich						
Diffusor	490	1987-1994	30	123	44	307
Wetterstrecke	490	1972-1984	57			
Blindschacht III	490	1995-2008	57	203	0	829
Richtstrecke (Schrägstrecke)	490	1976-2008	132	163	1	814
Grubenwehrraum (Eingang)	490	2008	3	70	57	84
Rolloch	511	2008	4	33	26	39
Füllort	700	2008	3	42	38	44
AVR-Strecke	750	1972-2008	145	30	3	407
Baustoffanlage	750	1976-1982	13	116	10	481
Kammer 4, vor der Kammer	750	2008	1	8	8	8
Kammer 9, Umfahrung	750	2008	3	64	13	158
Kammer 10, vor der Kammer	750	2008	3	33	30	39
PAE	750	2008	2	23	19	27
US-Feld 800	800	2008	2	9	9	10
US-Feld 800	800	1981	1	89	89	89
Aufenthalt während der Ein- und Umlagerungszeit möglich						
Kammer 7	725	1976-1980	11	513	85	1.184
Kammer 2 (Na2)	750	1977-1981	22	13.701	70	277.500
Kammer 2/12, Durchhieb	750	1972-1973	5	1.012	126	3.700
Kammer 5	750	1973-1980	19	285	78	1.073
Kammer 6/7	750	1977-1984	24	244	56	740
Kammer 10	750	1973-1982	24	1.247	174	4.070
Kammer 12 (Eingang)	750	1973-1974	4	3.071	851	5.550
nur kurzer Aufenthalt wahrscheinlich						
Abwetter Schacht 4	490	1979	4	350	255	407
Kammer 8a, 490 m	490	1972-1981	28	573	31	4.070
Kammer 8a, Abluft	511	1976-2008	132	406	41	1.166
Strahlenschutzmauer	511	1972-1981	18	339	0	1.443
Kammer 7	725	1981-2008	107	265	34	1.010
Kammer 5	750	1981-2008	106	109	0	1.004
Aufenthalt nur während der Beprobung verschlossener Einlagerungskammern						
Blindschacht III 725 m, Abwetter aus Kammer 11	725	1974-1979	12	152	37	370
Kammer 4	750	1978-2001	82	240.424	186	555.000
Kammer 10	750	1983-2008	95	64.568	12.950	259.763
Kammer 12	750	1974-2005	91	313.362	115	711.100
Messstellen über Tage						
Diffusor	über Tage	1972-2008	1.467	105	0	2.849
N0 - Übertage	über Tage	1972-2008	154	3	0	70

5.6 Messungen der Aktivität in Salzlösungen

Durch Kontaminationen während der Einlagerungsphase oder durch Kontakt mit den Abfällen in den Einlagerungskammern finden sich in der Schachanlage Asse II radioaktiv kontaminierte Salzlösungen. Diese beschränken sich im wesentlichen auf die Grubenbereiche der 750-m-Sohle und tiefer bzw. in Bereichen, in die kontaminierte Lauge vom Betreiber umgepumpt wurde.

Nach dem Zutreten von Salzlösungen aus dem Deckgebirge über der Südflanke in das Grubengebäude erfolgte seit 1988 durch den Strahlenschutz der Schachanlage Asse II eine regelmäßige Überwachung der Salzlösungen auf Kontaminationen. Insbesondere gilt dies auch für den Bereich der 2. Südlichen Richtstrecke auf der 750-m-Sohle. Die Tabellen 5.6.1 und 5.6.2 zeigen die Verteilungen der gemessenen Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 und H-3 in den Laugen.

Tab. 5.6.1 Verteilung der Messwerte der Aktivitätskonzentration von Cs-137 in Bq/l in Laugen pro Messstelle

Messort	Teufe (m)	Messzeit	Anzahl	Aktivitätskonzentration (Bq/l)		
				Mittelwert	Min	Max
Laugezulauf Kammer 3	637	1993-2002	97	0,2	0,1	0,9
Laugezulauf Kammer 3	658	1993-2008	105	0,4	0,1	1,8
Laugesumpf Blindsch. II, Richtstr. n. Westen	725	2007-2008	18	0,8	0,1	1,4
Westl. Laugesumpf, Richtstrecke n. Westen	725	2007-2008	45	0,7	0,1	2,0
Bohrung 1. östl. Querschlag nach Kammer 8	750	1991-2005	108	101,6	0,9	611,0
Bohrung Bhf-750 Ecke südl./östl. Richtstr.	750	1991-2002	55	9.098,3	260,0	51.740,0
Bohrung Bhf-750 v.Ascheversatzstr.	750	1991-2002	58	155,4	9,8	1.163,0
Bohrung Bhf-750 vor Kammer 3	750	1991-2003	57	5.496,2	181,0	20.550,0
Bohrung Bhf-750 vor östl. Streckenverschl.	750	1991-2000	47	20.292,9	255,0	70.000,0
Bohrung gegenüber Blindschacht IIa	750	1997-2000	38	239,7	130,0	402,0
Bohrung östlicher Eingang Kammer 4	750	1993-1999	65	256,6	142,0	349,0
Bohrung Umfahrung Kammer 9	750	1991-1995	27	0,4	0,1	2,3
Bohrung vor Eingang Kammer 4	750	1991-1998	70	141,4	1,9	442,0
Bohrung westl. Zugang Kammer 9	750	1993-2001	91	0,6	0,1	3,6
Drainage v. Zugang Kammer 9 b. Rolloch I	750	1994-2005	172	0,4	0,1	5,6
Drainagebohrung bei Rolloch II	750	1993-2006	169	98,5	8,1	249,0
Laugebecken ECN-Bohrung	750	1993-2005	144	0,3	0,1	3,3
Laugebecken vor Kammer 12	750	1988-2008	196	9.926,9	30,0	87.840,0
Laugesumpf Blindschacht 1	750	1991-2005	184	0,4	0,1	8,7
Laugesumpf Kammer 9 östl. Zugang	750	2001-2008	104	0,7	0,2	18,5
Laugesumpf Kammer 9 westl. Zugang	750	2001-2008	101	0,4	0,1	1,0
Nördl. Bohrung vor Eingang Kammer 4	750	1997-1998	7	153,6	113,0	209,0
Rohrleitung aus Kammer 9 westl. Zugang	750	2000-2004	49	0,3	0,2	1,3
Rolloch I Kammer 10	750	1993-2004	157	0,7	0,1	55,0
Rolloch II gegenüber Kammer 8	750	1993-2005	154	0,5	0,1	14,4
Sohlenschl. V. Ka. 10 i.d. 2.südl.Richtstr. n. Westen	750	2007-2008	20	0,9	0,2	7,3
Sohlensch. v. Ka. 10 i.d. 2.südl.Richtstr. n. Westen	750	2008	2	0,7	0,5	0,8
Sohlenschlitz vor östl. Zugang Kammer 4	750	2008	1	35,8	35,8	35,8
Sohlenschlitz vor östl. Zugang Kammer 8	750	2007-2008	18	522,3	121,0	1.607,0
Sohlenschl. vor westl. Zugang Ka. 4 i.d. 2.südl.Richtstr. nach Westen	750	2007-2008	18	678,0	616,0	748,0
Sohlenschlitz vor westl. Zugang Ka. 8	750	2007-2008	18	1.022,8	462,0	1.351,0
Umfahrung Kammer 9	750	2001-2003	30	0,7	0,2	2,4
Umfahrung Kammer 9 Drainage	750	1993-2008	255	7,3	0,2	220,0
Unterfahrung Kammer 4	750	1993-2007	125	178,8	0,1	2.076,0
Vor Eingang Kammer 9	750	1991-2000	52	297,2	38,0	804,0
Vor Unterfahrung Kammer 10	750	1993-2002	74	1,8	0,1	31,0
Westl. Querschlag nach Kammer 8	750	1993-2006	153	302,0	22,0	1.461,0
Westl. Zugang Blindschacht II a	750	1997-1999	16	184,4	99,0	291,0
Westl. Zugang Kammer 9	750	1993-2001	62	7,8	0,2	296,0
Zw. Rolloch II und westl. Querschlag	750	1994-2008	166	269,2	11,2	405,0
Belgierstrecke	775	1995-2005	186	44.652,5	1.528,0	147.200,0
Südl. Richtstrecke nach Westen	850	1997-2003	10	71,9	0,1	162,0

Tab. 5.6.2 Verteilung der Messwerte der Aktivitätskonzentration von Tritium (H-3) in Bq/l in Laugen pro Messstelle

Messort	Teufe (m)	Messzeit	Anzahl	Aktivitätskonzentration (kBq/l)		
				Mittelwert	Min	Max
Laugezulauf Kammer 3	637 m	1993-2002	95	0,5	0,0	2,8
Laugezulauf Kammer 3	658 m	1993-2008	95	1,0	0,0	6,5
Laugesumpf Blindsch.t II, Richtstr. n. Westen	725 m	2007-2008	3	1,6	0,6	2,4
Westl. Laugesumpf, Richtstrecke nach Westen	725 m	2007-2008	4	0,7	0,3	1,4
Bohrung 1. östl. Querschlag nach Ka. 8	750 m	1993-2005	103	493,0	15,8	2.580,0
Bohrung Bhf-750 Ecke süd./östl. Richtstrecke	750 m	1993-2002	48	8,7	5,4	18,7
Bohrung Bhf-750 v.Ascheversatzstr.	750 m	1993-2002	53	3,0	1,2	13,8
Bohrung Bhf-750 vor Kammer 3	750 m	1993-2003	49	27,1	3,7	82,3
Bohrung Bhf-750 vor östl. Streckenverschl.	750 m	1993-2000	41	8,5	5,4	15,2
Bohrung gegenüber Blindschacht IIa	750 m	1997-2000	37	2.767,5	2.034,3	3.966,0
Bohrung östlicher Eingang Kammer 4	750 m	1993-1999	63	4.314,4	2.259,4	5.890,0
Bohrung Umfahrung Kammer 9	750 m	1993-1995	22	5,7	5,0	6,8
Bohrung vor Eingang Kammer 4	750 m	1993-1998	64	2.378,5	401,5	9.777,0
Bohrung westl. Zugang Kammer 9	750 m	1993-2001	89	7,5	0,2	45,5
Drainagebohrung bei Rolloch II	750 m	1994-2006	158	296,3	65,9	1.145,0
Laugebecken ECN-Bohrung	750 m	1993-2005	144	2,5	0,7	30,7
Laugebecken vor Kammer 12	750 m	1988-2008	178	2.173,9	461,8	4.220,0
Laugesumpf Blindschacht 1	750 m	1993-2005	153	33,2	0,6	149,0
Laugesumpf Kammer 9 östl. Zugang	750 m	2001-2008	84	3,1	1,1	17,8
Nördl. Bohrung vor Eingang Kammer 4	750 m	1997-1998	8	1.269,7	716,7	2.125,9
Rolloch I Kammer 10	750 m	1994-2004	115	3,4	1,1	10,9
Rolloch II gegenüber Kammer 8	750 m	1993-2005	106	3,4	1,0	18,3
Sohlenschl. vor Ka. 10 i.d. 2.südl.Richtstr. nach Westen	750 m	2007-2008	10	97,3	40,3	184,0
Sohlenschl. vor Ka. 10 i.d. 2.südl.Richtstr. n. Westen	750 m	2008	1	67,1	67,1	67,1
Sohlenschlitz vor östl. Zugang Kammer 4	750 m	2008	1	23,2	23,2	23,2
Sohlenschlitz vor östl. Zugang Kammer 8	750 m	2007-2008	17	1.552,0	1.238,6	2.509,5
Sohlenschlitz vor westl. Zugang Kammer 4 i.d. 2.südl.Richtstr. nach Westen	750 m	2007-2008	17	3.901,0	3.488,4	4.322,5
Sohlenschlitz vor westl. Zugang Kammer 8	750 m	2007-2008	17	3.973,1	3.499,1	4.321,9
Umfahrung Kammer 9	750 m	1995-2003	30	3,1	1,1	8,8
Umfahrung Kammer 9 Drainage	750 m	1994-2008	216	11,9	1,3	143,3
Unterfahrung Kammer 4	750 m	1995-2007	100	2.095,0	321,9	3.356,1
Vor Eingang Kammer 9	750 m	1992-1997	47	521,8	70,0	3.500,0
Vor Unterfahrung Kammer 10	750 m	1993-2002	71	110,3	5,5	304,6
Westl. Querschlag nach Kammer 8	750 m	1994-2006	146	2.462,8	1.309,4	4.421,2
Westl. Zugang Blindschacht II a	750 m	1997-1999	16	2.310,9	1.514,0	3.248,1
Westl. Zugang Kammer 9	750 m	1993-2001	62	150,9	7,3	391,5
Zwischen Rolloch II und westl. Querschlag	750 m	1994-2008	165	597,2	264,6	1.883,3
Belgierstrecke	775 m	1995-2005	80	165,6	41,1	221,7
Südl. Richtstrecke nach Westen	850 m	1998-2003	3	1.474,0	1.087,8	1.819,0
Drainage vor Zugang Kammer 9 bei Rolloch I	k.A.	1994-2005	159	12,5	1,3	63,6
Laugesumpf Kammer 9 westl. Zugang	k.A.	2001-2008	78	5,7	0,1	31,7
Rohrleitung aus Kammer 9 westl. Zugang	k.A.	2000-2004	49	5,1	0,3	110,7

Tabelle 5.6.3 zeigt, welche Radionuklide zusätzlich zu Cs-137 und H-3 in den Laugen der Schachtanlage Asse gemessen wurden und welche maximalen Aktivitätskonzentrationen jeweils gemessen wurden.

Tab. 5.6.3 Radionuklide, die in der Lauge gemessen wurden, mit maximal gemessener Aktivitätskonzentration (außer Cs-137 und H-3)

Radionuklid	Maximale Aktivitätskonzentration (Bq/l)
Co-60	297
Sr-90	2,4
Cs-134	23,8
Pb-210	26,9
Pb-212	3,8
Pb-214	9,3
Bi-214	12,3
Ra-226	30,4
U-235	1,0
Pu-239/240	0,1

Die Messergebnisse der langjährigen Überwachung zeigen, dass die Cs-137- und H-3-Aktivitätskonzentrationen in den Salzlösungen dominieren. Diese beiden Nuklide sind daher die Leitnuklide der Überwachung der Salzlösung auf Kontamination.

5.7 Kontaminationen

Insbesondere während der Einlagerungsphase traten mehrere Zwischenfälle auf, die zu Kontaminationen und möglicherweise zu einer zusätzlichen Strahlenexposition der Beschäftigten führten. Es liegen handschriftliche Aufzeichnungen über solche Ereignisse vor, die vollständig übertragen wurden in die Tabellen 3-5 von Anhang 1 des ISTec-Berichtes /IST 09/ „Radiologische Sachstandserhebung für die Schachtanlage Asse II“ vom 21.04.2009. Die eingescannten Originalaufzeichnungen und Berichte wurden dem BfS von der Asse GmbH übergeben. In diesen Tabellen sind mehr als 200 Fälle zwischen März 1968 und September 1980 aufgelistet.

Unter diesen Ereignissen ragen drei mit großflächigeren Kontaminationen bzw. mit dem Nachweis von Alpha-Strahlung unter Tage und eines über Tage heraus:

- am Montag, den 17.12.1973, Kontamination am pa-Behälter (Großbehälter für den Eisenbahntransport) (2.000 cm², 14,8 Bq/cm² Beta-Kontamination, Anfang des Jahres 1974 dekontaminiert auf 0,37 Bq/cm² Beta-Kontamination), im Füllort und in der Strecke zur LAW-Einlagerungskammer 12 auf der 750-m-Sohle (ca. 250 m², 185 Bq/cm² Beta-Kontamination) und am Kramer-Lader auf der 750-m-Sohle (2 m², 74 Bq/cm² Beta-Kontamination). Bei gammaspektrometrischen Untersuchungen des bei den Dekontaminationsarbeiten angefallenen Materials wurde Cs-134 nachgewiesen /GSF 74/.
- am Montag, den 28.10.1974, Kontamination der Schachthallensohle (1.000 cm², 1,85 Bq/cm² Beta-Kontamination), am pa-Behälter (20.000 cm², 7,4 Bq/cm² Beta-Kontamination), im Füllort der 750-m-Sohle (10 m², 148 Bq/cm² Beta-Kontamination)

und 18,5 Bq/cm² Alpha-Kontamination) am Kramer-Lader (5.000 cm², 18,5 Bq/cm² Beta-Kontamination und 500 cm², 0,74 Bq/cm² Alpha-Kontamination), alle Flächen dekontaminiert am 28.10.1974

- am Mittwoch, den 10.09.1980, Kontamination in der LAW-Einlagerungskammer 7 auf der 750-m-Sohle durch das am 12. oder 13.12.1978 angelieferte KGB (Kernkraftwerk Gundremmingen Betriebsgesellschaft) -Fass Nr. 32, das beim Aufnehmen mit dem Fassgreifer aufplatzte und dessen gesamter Fassinhalt in Form von dünnflüssigem Schlamm infolge des in dem Fass herrschenden Innendrucks heraussprudelte (ca. 10 m² der Fahrbahn, ca. 3700 Bq/cm², Beta-Strahler Co-60 und Cs-137) /GSF 80/.

Das vierte Ereignis fand am 28.12.1978 über Tage mit einem kontaminierten LKW vom Kernforschungszentrum Karlsruhe (KfK) statt. Diese vier Ereignisse werden hier separat untersucht, während die übrigen Kontaminationsereignisse zusammengefasst bewertet werden.

Bei der Auswertung dieser Ereignisse hinsichtlich der durch sie verursachten möglichen effektiven Dosis bei den Beschäftigten wird sich hier auf die Dosis durch Inkorporationen beschränkt, da die externe Strahlenexposition individuell durch die Dosimeter der Beschäftigten erfasst wurde. Dabei wird angenommen, dass Inkorporationen ausschließlich über Inhalation erfolgten.

Ereignis am 17.12.1973

Am 17.12.1973 wurden von der GfK, Karlsruhe, 48 Fässer mit schwachradioaktiven Rückständen angeliefert. Das Aktivitätsinventar eines Fasses (nach Assekat 9.2, Bezugsdatum 17.12.1973 /Ass 10b/) ist in Tabelle 5.7.1 aufgelistet:

Auf der Abfallbegleitliste waren als Nuklide "Alpha + Beta + Gamma + Pu" und eine Gesamtaktivität von 10 mCi ($3,7 \cdot 10^8$ Bq) deklariert. In den Kernbrennstoffmeldungen finden sich keine Plutonium-Angaben.

Die Deckel der antransportierten Fässer standen randvoll mit Regenwasser. Es wird angenommen, dass in den Fässern mit betoniertem Material Rest-Flüssigkeiten waren, die auf Grund der Manipulationen der Fässer mit den Gabelstaplern austraten, wobei die großflächige Ausdehnung der Kontaminationen durch evtl. in die Fässer eingedrungenes und von den Fassdeckeln übergelaufenes Regenwasser begünstigt wurde. Die Flüssigkeiten waren bis zu 3 cm in den Beton eingedrungen.

Zur Beseitigung der Kontaminationen wurde Anfang 1974 die kontaminierte Fahrbahn ausgespritzt und anschließend betoniert.

Tab. 5.7.1 Aktivitätsinventar eines am 17.12.1973 gelieferten Fasses

Nuklid	Aktivität (Bq)
H-3	2,92E+05
Mn-54	1,53E+05
Fe-55	6,19E+06
Co-60	3,01E+06
Ni-59	3,38E+03
Ni-63	4,77E+05
Sr-90	4,89E+07
Zr-93	1,44E+03
Zr-95	4,39E+03
Tc-99	1,01E+04
Ru-106	5,12E+07
Cd-113m	1,45E+04
Sn-119m	1,32E+05
Sb-125	2,60E+06
Cs-134	7,57E+06
Cs-137	6,86E+07
Ce-144	7,50E+07
Pm-147	9,93E+07
Sm-151	7,71E+05
Eu-152	4,66E+03
Eu-154	1,40E+06
Eu-155	2,25E+06
Am-241	3,09E+05
Cm-242	1,61E+04
Cm-244	1,43E+04
Gesamt	3,68E+08

Bei Ganzkörpermessungen am 12.-14.03.1974 wurden bei drei Beschäftigten, die nicht direkt an den Dekontaminationsarbeiten beteiligt waren und deshalb keine Atemschutzmasken trugen, bis zu 33 nCi (1220 Bq) Cs-134/137 gemessen. Da diese drei Messergebnisse die einzigen während der Einlagerungsphase waren, die an oder oberhalb der Nachweisgrenze – diese lag 1974 bei 8 nCi (300 Bq) – waren, wird angenommen, dass dieser Cs-Gehalt überwiegend durch das hier betrachtete Ereignis verursacht wurde. Mit den Annahmen, dass das gesamte gemessene Caesium in Folge dieses Ereignisses inkorporiert wurde, und dass das Aktivitätsverhältnis der inhaliierten Nuklide dem der obigen Tabelle entspricht, errechnet sich mit dem oben angegebenen Radionuklidinventar eine effektive Dosis von 0,95 mSv, wobei diese Dosis insbesondere durch Am-241 (zu 47%) und Sr-90 (zu 21%) verursacht wird. Dabei wurden die Standardannahmen der ICRP für beruflich Strahlenexponierte (AMAD 5 µm) /ICR 94a/ und es wurden für alle Nuklide die jeweils ungünstigsten Lungenretentionsklassen angenommen.

Ereignis am 28.10.1974

Laut Schreiben des FB Asse an die Firma Transnuklear GmbH vom 29.10.1974 wurden bei der Manipulation von 100 I-Rollsickenfässern, die von der Firma Transnuklear Hanau angeliefert wurden, mit Gabelstaplern mehrere Fässer derart beschädigt, dass der Inhalt austrat

und Kontaminationen verursachte. Bei Fass 341 soll dabei pulverförmiges Uran ausgetreten sein.

Am Füllort auf der 750 m - Sohle waren 10 m² des Bodens kontaminiert mit 0,5 nCi/cm² (18,5 Bq/cm²) Alpha-Aktivität. Nimmt man – entsprechend dem in der Richtlinie zur Inkorporationsüberwachung verwendeten Wert für den Anteil der Aktivität, mit dem umgegangen wird, der unbemerkt inkorporiert werden kann – an, dass von einem Beschäftigten das 10⁻⁴-fache der Alpha-Aktivität auf dem Boden inhaliert wird, und dass es sich dabei um Uran handelt, so errechnet sich unter konservativen Annahmen mit den Standardmodellen und -annahmen der ICRP für beruflich Strahlenexponierte eine effektive Dosis von 1,3 mSv durch Uran.

Ereignis am 10.09.1980

Am 10.09.1980 wurden mit Hilfe eines Gabelstaplers und eines Schopfladers 200 l – Rollreifenfässer aus der Kammer 7 (750 m - Sohle) in die Kammer 6 (750 m - Sohle) transportiert. Beim Aufnehmen des Fasses Nr. 32 der Kernkraftwerke Gundremmingen Betreibergesellschaft mbH (KGB) (angeliefert am 12.12.1978) platzte bei diesem der Boden heraus, wodurch der gesamte Inhalt des Fasses als dünnflüssiger Schlamm über eine Fläche von etwa 10 m² herauslief. Der weitgehend aufgetrocknete Schlamm wurde in zwei 200 l - Fässer geschaufelt und die Restkontamination auf der Fahrbahn mit einer ca. 15 cm dicken Schicht aus abgesiebttem Steinsalz abgedeckt.

Die Kontamination auf der Fahrbahn betrug 3700 Bq/cm² β-Aktivität, insbesondere durch Cs-137 und Co-60.

Der Inhalt des Fasses bestand überwiegend aus Flüssigkeit und entsprach damit nicht den Einlagerungsbedingungen. Vom Abfallanlieferer wurde nachträglich angegeben, dass Personal einer Fremdfirma bei Reinigungsarbeiten schlammhaltiges verschmutztes Donauwasser aus Stratorwasserkühlern versehentlich in ein bereits kontaminiertes Fass füllten und dieses im Dekontaminationsraum lagerten, in dem mit festem Abfall gefüllte Fässer lagerten.

Es wurden (bezogen auf den Feststoffanteil des Fassinhaltes) folgende spezifischen Aktivitäten gemessen: Für Co-60 0,023 µCi/g (850 Bq/g), für Cs-134 0,00071 µCi/g (26 Bq/g) und für Cs-137 0,063 µCi/g (2300 Bq/g). Die Aktivität des Fassinhalts wurde aus einer Probe von 22,5 g mit etwa 10 nCi/g (370 Bq/g) ermittelt.

Mit diesen Informationen errechnet sich eine Aktivität von 10 mCi auf der Fahrbahn, die etwas höher ist als die aus der Probe abgeschätzte Fassaktivität von 2 mCi. Nimmt man an, dass, entsprechend der in 6.4.2 beschriebenen Vorgehensweise, das 10⁻⁴-fache der Aktivität durch einen Beschäftigten inhaliert wird, so ergibt sich für diesen unter Zugrundelegung des oben angegebenen Radionuklidverhältnisses mit den gegenwärtigen Modellen und Standardannahmen der ICRP eine effektive Dosis von maximal 0,35 mSv.

Ereignis am 28.12.1978

Das vierte Ereignis fand am 28.12.1978 über Tage mit einem kontaminierten LKW vom Kernforschungszentrum Karlsruhe (KfK) statt. Als effektive Dosis wurden 0,029 mSv abgeschätzt.

Bewertung der übrigen Kontaminationsereignisse

Bei den übrigen Kontaminationsfällen handelt es sich um kleinflächigere Kontaminationen, für die keine Alpha-Aktivität angegeben wurde. Die Quantifizierung der möglichen effektiven Dosis durch diese Ereignisse erfolgt in Kapitel 8.4.

6 DATENBANKKONZEPT

Zur Durchführung des GM Asse wurde eine Datenbank erstellt. Die Datenbank enthält folgende Datengruppen mit den folgenden Anfangsbuchstaben (in Klammer):

- (P) Pseudonymisierte **P**ersonaldaten
- (A) Pseudonymisierte Daten zu den **A**rbeitsanamnesen
- (D) Pseudonymisierte Daten zur **D**osimetrie
- (I) Pseudonymisierte Daten zur **I**nkorporationsüberwachung
- (L) Daten zur Gruben**L**uft- und Abluftüberwachung
- (S) Daten zu **S**alzlösungen.

Die Datenbank dient in erster Linie der Datenhaltung, –pflege und –aufbereitung. Weiterhin ist die Datenbank Grundlage für Auskünfte an einzelne Beschäftigte über abgeschätzte Strahlenexpositionen. Weitere Einzelheiten des Datenbankkonzepts sind Anhang 3 zu entnehmen.

7 BEFRAGUNG BESCHÄFTIGTER

Ziel der Befragung ehemaliger Beschäftigter der Schachanlage Asse II war es, weitere Kenntnisse über frühere Arbeitsabläufe, Strahlenschutzmaßnahmen und deren praktische Umsetzung zu erlangen und vorhandene Widersprüche aufzuklären. Dabei sollte sowohl der Zeitraum der Einlagerungsphase (1967-1978) als auch der Zeitraum nach Änderung des Strahlenschutzregimes in der Nacheinlagerungsphase abgedeckt werden.

Das BfS hat hierzu eine Vorgabe auszuwählender Personenkreise erarbeitet. Diese umfasste ehemalige Beschäftigte, für die bei den Berufsgenossenschaften ein Antrag auf Anerkennung einer Berufskrankheit vorlag sowie jeweils deren möglichst langjährigen Schichtpartner. Des Weiteren drei Beschäftigte, bei denen in der Einlagerungsphase im Rahmen der Inkorporationsüberwachung eine erhöhte Cäsium-Konzentration gemessen worden war sowie zwei ehemalige Strahlenschutzbeauftragte; zwei Personen, die an den Dekontaminationsarbeiten bei den drei größeren Kontaminationsereignissen beteiligt waren sowie zwei Personen, die nach 1985 beschäftigt waren.

Auf der Basis dieser Vorgaben der Projektgruppe GM Asse wurden von der heutigen Asse GmbH in Abstimmung mit dem Betriebsrat aus den Personallisten eine Auswahl ehemaliger und derzeitiger Beschäftigter für die Befragung vorgenommen. Aus Datenschutzgründen wurden die zu Befragenden von der Asse GmbH angeschrieben und um ihr Einverständnis zur Teilnahme an der Befragung und Entschlüsselung ihrer Daten gebeten. Von 17 ausgewählten Kandidaten haben 15 ihre Zusage für ein Interview gegeben. Eine Person musste aus Krankheitsgründen, eine andere aus Termingründen absagen. Wegen kurzfristiger Er-

krankung einer weiteren Person reduzierte sich die Gesamtzahl auf 14 Personen. Mit diesen führten drei Mitglieder der Projektgruppe GM Asse Ende September und Anfang Oktober 2010 auf der Infostelle Asse die Befragungen durch.

Die Befragungen waren weitgehend standardisiert. Zu Beginn wurden die dem BfS vorliegenden individuellen Daten zu Beschäftigungszeiten, monatlichen Daten der Personendosimeter (Filmplaketten) und jährlichen Daten zur Inkorporationsüberwachungen (Ganzkörperzähler) durch den Befragten überprüft. Vereinzelt vorkommende zeitliche Lücken konnten so zum Beispiel durch längere Erkrankungszeiten oder andere Ausfallzeiten erklärt werden, so dass insgesamt von einer weitgehend korrekten Datenlage auszugehen ist.

Weitere Befragungsbereiche betrafen Art und Umfang der Strahlenschutzunterweisungen, Zugangsmöglichkeiten und Kennzeichnung von Kontrollbereichen, das Vorhandensein und tatsächliche Tragen von persönlichen Filmdosimetern und Füllhalter-Dosimetern unter Tage und speziell bei Betreten von Kontrollbereichen, insbesondere in der Nacheinlagerungszeit. Ein weiteres Thema waren frühere Kontaminationsereignisse und damit verbundene Kontaminationsmöglichkeiten sowie der Umgang mit kontaminierter Lauge, insbesondere vor Kammer 12.

Alle Interviewpartner wurden befragt, ob Personen die unter Tage und in Kontrollbereichen beschäftigt gewesen war, eine Strahlenschutzunterweisung erhielten. Soweit dies erinnert werden konnte, wurde relativ übereinstimmend berichtet, dass zumindest bei allen in der Abteilung Betrieb der Schachanlage Asse II regelmäßig mindestens einmal jährlich, meist in Kombination mit der Betriebsversammlung, eine Strahlenschutzunterweisung durchgeführt wurde und dies auch mit Unterschrift quittiert werden musste. Bei Personen, die an dem Tag z.B. erkrankt oder auf Dienstreise waren, wurde zumeist versucht dies nachzuholen. Eine fehlende Strahlenschutzunterweisung über ein Jahr oder länger wurde von der Mehrheit der Befragten aus der Abteilung Betrieb als äußerst unwahrscheinlich angesehen. Andere Befragten sagten aus, dass sie sich an keine Strahlenschutzunterweisung erinnern könnten. Zusammengefasst ergab die Befragung, dass in der Abteilung Betrieb und der Abteilung Wissenschaft die Strahlenschutzunterweisung regelmäßig durchgeführt wurden, in der Abteilung Betrieb die Teilnahme eng kontrolliert wurde, in der Abteilung Wissenschaft dagegen weniger strikt, so dass ein Fehlen bei der Unterweisung auftreten konnte, ein Fehlen über mehrere Jahre hinweg aber als wenig wahrscheinlich bewertet wird.

Ein weiterer Themenkomplex betraf die Frage, inwiefern in der Nacheinlagerungsphase weiterhin persönliche zugeordnete Filmplaketten vorhanden waren und in welchen Fällen sie getragen wurden. Offiziell war ab 1979 das ständige Tragen von Dosimetern außerhalb der Kontrollbereiche nach Auffassung des Betreibers HMGU der Schachanlage Asse II nicht mehr erforderlich, da nach seiner Bewertung eine mögliche Strahlenexposition kleiner als der Dosiswert zur Überwachung war. Ab 1985 wurde von der Genehmigungsbehörde die Tragepflicht der Dosimeter für Beschäftigte grundsätzlich aufgehoben. Nur Personen des Strahlenschutzes, der Öffentlichkeitsarbeit und verantwortliche Personen (Aufsichten) waren zum ständigen Tragen der Filmdosimeter und Stabdosimeter verpflichtet. Alle anderen Beschäftigten hatten nur im Falle des Betretens von Kontrollbereichen die Pflicht ein Dosimeter zu tragen.

Hierzu gab es Berichte, dass die Dosimeter häufig oben in einem Bereich hingen, wo persönliche Schutzausrüstungen wie Grubenlampe und Selbstretter zum täglichen Einsatz verwahrt wurden. Obwohl die Filmdosimeter möglicherweise nicht getragen wurden, wurden sie

vom Strahlenschutzbeauftragten am Monatsende eingesammelt und zur amtlichen Messstelle zur Auswertung gesandt. Folglich wurde hier amtlich ein Messwert von 0 mSv bestimmt und den jeweiligen Personen zugeordnet. Des Weiteren gab es Mutmaßungen, dass Bergleute, die keine Filmplaketten unter Tage trugen, im Falle einer kurzfristigen Aufforderung des Betretens eines Kontrollbereichs, nicht extra wieder nach oben fuhren, sondern auf das Tragen der Filmplaketten verzichteten. Alle Interviewpartner wurden zur Klärung dieser Sachverhalte befragt.

Sowohl bei den Strahlenschutzverantwortlichen als auch bei den anderen Interviewpartnern konnte nicht mehr genau ermittelt werden, wann das Strahlenschutzregime genau umgestellt wurde. Es scheint, dass auch nach 1978 aus Gewohnheit von einigen Beschäftigten die Filmplaketten weiterhin getragen wurden. Für die späteren Jahre gab es widersprüchliche Angaben zum einfachen Zugang zu Filmdosimetern. Einige Beschäftigte erinnerten sich, dass die Filmplaketten oben für alle Beschäftigten griffbereit hingen, andere gaben an, dass keine persönlichen Filmplaketten mehr zur Verfügung standen. Es ließ sich nicht erkennen, ob dieses unterschiedliche damalige Verhalten beim Tragen der Filmdosimeter bzw. Erinnerungsvermögen an die damalige Situation durch die Beschäftigung in der Abteilung Betrieb oder die Abteilung Wissenschaft beeinflusst war. Generell gab es in der Nacheinlagerungsphase wenig Arbeitseinsätze in Kontrollbereichen für Personal, das nicht ständig Dosimeter tragen musste.

Mehrheitlich wurde angegeben, dass es praktisch keine überraschenden Aufforderungen von Vorgesetzten nach dem Einfahren unter Tage gab, einen Kontrollbereich zu betreten und dort Arbeiten auszuführen, sondern dass man in aller Regel bereits einen Tag vorher davon erfuhr und sich entsprechend mit Filmplaketten ausstatten konnte. Andere wiederum gaben an, in solchen Fällen statt der Filmplaketten die unter Tage zur Verfügung stehenden direkt ablesbaren Füllhalterdosimeter verwendet zu haben. Generell waren nach allgemeiner Bestätigung die Kontrollbereiche durch Ketten, später teilweise durch Gittertore vom restlichen Grubengebäude getrennt und man musste sich vor dem Betreten eines Kontrollbereichs vor Ort in Bücher mit Kommen und Gehen eintragen.

Vereinzelten Berichten zufolge wurde während der Einlagerungsphase Personal von bestimmten Tätigkeiten unter Tage abgezogen, um vorsorglich ein Überschreiten der Grenzwerte zu vermeiden. Dies wurde in den Befragungen zum Teil bestätigt oder nicht mehr erinnert. Die dem BfS vorliegenden Dosiswerte von Filmdosimetern zeigen keine Jahreswerte über den Dosisgrenzwerten und nur in einem Ausnahmefall in der Nähe von Grenzwerten, so dass diese Strahlenschutzmaßnahme auf Grund von Ablesungen der direkt ablesbaren Stabdosismeter erfolgt sein muss. Ein betriebsinterner Dosiswert, ab dem eine solche Entscheidung erfolgte konnte von keinem der Befragten, auch nicht der im Bereich Strahlenschutz Beschäftigten erinnert werden.

Auch wurde in einem Einzelfall angegeben, dass Personen während der Einlagerungsphase „zwischen den Fässern frühstückten“. Dies wurde mehrheitlich als ausgeschlossen zurückgewiesen, da es bekannt war, dass dies verboten ist und Kollegen sowie der Strahlenschutzbeauftragten sofort darauf hingewiesen hätten.

Die Erinnerung an den Umgang mit möglicherweise kontaminierter Lauge wurde unterschiedlich berichtet. Von einzelnen der Befragten wurde vermutet, dass auch kontaminierte Lauge zum Ansetzen des Zements zur Verankerung von gebirgsmechanischen Messsonden und Geräten verwendet wurde. Die Lauge sei von Mitarbeitern der Abteilung Betrieb auf An-

forderung unter Tage angeliefert worden, eine Nachverfolgen der Herkunft der Lauge war den anfordernden Mitarbeitern häufig nicht möglich. Von befragten Mitarbeitern der Abteilung Betrieb und vom Strahlenschutz der Schachanlage Asse wurde strikt zurückgewiesen, Lauge aus Bereichen mit kontaminierten Laugesümpfen angeliefert zu haben. Lauge sei stets aus vorher bestimmten Laugesümpfen entnommen worden. Diese wurde vorher auf Grund der Laugenzusammensetzung wegen der Bindefestigkeit des Zements ausgewählt.

Der Umgang mit der Lauge vor Kammer 12 auf der 750-m-Sohle konnte in den Befragungen nicht mehr eindeutig erinnert werden. Zum Teil gab es Berichte, dass die Lauge in einer frühen Phase zur Anmischung von Verfüllmaterial des Abbaus 11 auf der 700-m-Sohle verwendet wurde. Später wurde die Lauge dann in den Tiefenaufschluss verbracht. Eine Verwendung der Lauge zu diesem späteren Zeitpunkt zur Verfüllung wurde verneint. Ab wann im Laugesumpf vor Kammer 12 Kontaminationen gefunden wurde und wann daraufhin dort ein Kontrollbereich eingerichtet wurde, konnte mehrheitlich nicht mehr erinnert werden, jedoch dass unmittelbar nach Bekanntwerden der Kontaminationen der Bereich mit einer Kette abgesperrt wurde.

Bei zwei der Befragten Beschäftigten waren im März 1974 erhöhte Cäsium-Werte mit Hilfe des Ganzkörperzählers gemessen worden. Dies war wenige Wochen nach dem Kontaminationsereignis im Dezember 1973 der Fall. Beide Beschäftigte bestätigten, dass sie nicht mit den Dekontaminationsarbeiten betraut waren. Vielmehr waren sie mit Beraubungsarbeiten und dem Neuauffahren von Strecken beschäftigt. Auch sie konnten sich nicht erklären wie es zu den Inkorporationen gekommen sein könnte. Bei einem der Befragten wurde die Messung seinerzeit in Neuherberg wiederholt und es zeigte sich bei der Nachmessung kein erhöhter Wert. Dem anderen Befragten wurde mitgeteilt, dass vermutlich das Messgerät defekt war. Eine Nachmessung erfolgte nicht und wurde auch nicht angeboten. In den Befragungen durch die Projektgruppe GM Asse wurde den beiden Betroffenen zusätzlich zu einem separat versandtem Schreiben nochmals die Bitte und das Angebot des BfS mitgeteilt, dass vorsorglich eine Bestimmung langlebiger Alpha-Strahler im Urin vorgenommen werden könnte, um so, zwar mit Unsicherheiten behaftet, eine Nachkontrolle des damaligen Inkorporationsereignisses durchzuführen. Cäsium 134/137 könnte wegen der kurzen biologischen Halbwertszeit zwar heute nicht mehr nachgewiesen werden. Aber eine Kontamination mit langlebigen Alpha-Strahlen wäre unter Beachtung der Nachweisgrenzen möglicherweise auch heute noch detektierbar. Wären die Messungen negativ, so könnte zumindest eine Inkorporation mit bis heute andauernder interner Strahlenbelastung verneint werden (Ergebnis siehe Kapitel 5.2).

Zusammengefasst ergaben die Befragungen, dass zu zwei Kernbereichen des Strahlenschutzregimes auf der Schachanlage Asse II heute keine abschließende Klärung erfolgen konnte. Zum Bereich Strahlenschutzunterweisungen und zum Bereich Tragepraxis der Film-dosimetern in der Nachbetriebsphase weichen die Erinnerungen der befragten Personen stark voneinander ab. Zwar wurde mehrheitlich das Strahlenschutzregime so erinnert, wie es in den schriftlichen Aufzeichnungen des Betreibers dokumentiert ist. Vereinzelt wurde aber verneint, dass die Praxis der Dokumentation entsprach. Bezüglich der Strahlenschutzunterweisungen kann auf die z.T. aufbewahrten Bestätigungslisten mit Unterschriften zurückgegriffen werden.

8 QUANTIFIZIERUNG DER INDIVIDUELLEN STRAHLENDOSIS

Ziel der Quantifizierung ist es, für jeden seit Beginn der Einlagerung 1967 bis zum Betreiberwechsel zum Jahresende 2008 (siehe Kapitel 5) bei der Schachtanlage Asse II Beschäftigten die durch diese Beschäftigung bedingte effektive Dosis abzuschätzen. Es werden dabei für den gesamten Zeitraum Dosiswerte aus Tätigkeiten unter Tage hergeleitet. Für die Einlagerungs- und Umlagerungsphase (bis 1980) werden auch mögliche Expositionen bei der Handhabung der angelieferten Fässer über Tage berücksichtigt.

Die individuelle effektive Dosis ist die Summe der effektiven Dosis aus externer Bestrahlung und der durch Inkorporation von Radionukliden verursachten internen effektiven 50-Jahre-Folgedosis.

8.1 Bestimmung der externen Dosis

Die externe Dosis wurde während der Einlagerungsphase für alle Beschäftigte regelmäßig in der amtlichen und betrieblichen Personendosimetrie überwacht (siehe Kapitel 5.1). Zusätzlich liegen Werte zur Ortsdosis bzw. Ortsdosisleistung in der Grube vor, über die, unter Beachtung bestimmter Randbedingungen, eine individuelle effektive Dosis durch externe Strahlenexposition abgeschätzt werden kann. Zu diesen Randbedingungen zählt unter anderem, dass kein direkter Umgang mit Strahlenquellen stattgefunden hat und dass keine Tätigkeiten in unmittelbarer Nähe der Strahlenquellen durchgeführt worden sind.

Die Abschätzung der individuellen externen effektiven Jahresdosis über die Werte der amtlichen und betrieblichen Personendosimetrie ist zuverlässiger als eine Abschätzung über die gemessene Ortsdosis bzw. Ortsdosisleistung, da die über die Personendosimeter ermittelten Werte direkt bei der Person gemessen werden. So ist durch die amtliche Personendosimetrie auch die externe Dosis durch den direkten Umgang mit Strahlenquellen oder durch eventuelle Kontaminationsereignisse im näheren Umfeld des Beschäftigten mit erfasst. Die Nachweisgrenze für die amtliche Personendosimetrie betrug ab 1967 zuerst 0,4 mSv pro Monat, von Juli 1978 bis einschließlich Juli 2001 0,2 mSv pro Monat und danach 0,1 mSv pro Monat. Für Zeiträume, in denen die Beschäftigten keinen direkten Umgang mit den radioaktiven Abfällen oder anderen Strahlenquellen hatten und keine Tätigkeiten in deren Nähe ausführten, kann jedoch aus der Ortsdosis bzw. Ortsdosisleistung konservativ die individuelle Dosis abgeleitet werden. Dies gilt insbesondere für den Zeitraum nach der Einlagerungs- und Umlagerungsphase.

Zur Bestimmung der individuellen externen Dosis werden zunächst die monatlichen Auswertungen der Personendosimetrie verwendet. Für Monate, in denen diese Werte unter der Nachweisgrenze liegen bzw. in denen (nach der Ein- und Umlagerungsphase) die Beschäftigten zwar unter Tage gearbeitet aber keine Dosimeter getragen haben oder keine Information vorliegt, ob diese Person unter Tage beschäftigt war, wird wie folgt vorgegangen:

Einlagerungs- und Umlagerungsphase 1967-1980:

Während der Ein- und Umlagerungsphase bestand für Beschäftigte, die bei Einlagerungs- bzw. Umlagerungsarbeiten beschäftigt waren, die Pflicht, Dosimeter zu tragen. Zum Zwecke der Expositionsrekonstruktion wurde wie folgt verfahren:

- Für die Beschäftigungsmonate, in denen die Ergebnisse der amtlichen Personendosimetrie unter der Nachweisgrenze von 0,4 mSv bzw. ab Juli 1978 von 0,2 mSv lagen, wird

- Es gibt zwar ab 1975 Ortsdosismessungen (unter Tage und über Tage auf dem Betriebsgelände) und ab 1980 Ortsdosisleistungsmessungen, doch kann für Ein- und Umlagerungsarbeiten eine Ableitung der Personendosis aus der Ortsdosis zu einer Unterschätzung der Personendosis führen, denn für den möglichen Aufenthalt im Nahbereich von Strahlenquellen stellt die ODL keine repräsentative Dosis für den Beschäftigten dar.
- Beschäftigten, die in dieser Zeit unter Tage gearbeitet haben und nicht dosimetrisch überwacht waren oder für die unbekannt ist, ob sie unter Tage gearbeitet haben, werden konservativ die jeweils gültigen Nachweisgrenzen der amtlichen Personendosimetrie als erhaltene effektive Dosis zugeordnet. Dieses Verfahren beruht auf einer konservativen Annahme, da es Jahreswerte der externen Dosis von mindestens 4,8 mSv für den Zeitraum 1967 bis Juni 1978 ergibt und mindestens 2,4 mSv ab dem Juli 1978 (das Jahr 1978 wird jeweils anteilig berücksichtigt).
- Beschäftigte mit messbaren Dosisdaten aus der amtlichen bzw. betrieblichen Personendosimetrie erhalten diese Werte als beste Schätzwerte für die jeweiligen Beschäftigungsmonate.

Die Ermittlung der externen Dosis über die Messwerte der Ortsdosis (Werte verfügbar für den Zeitraum 1975-1980) und der Ortsdosisleistung (ab 1980) ergibt abgeleitete individuelle Jahresdosiswerte von maximal 1,2 mSv aus der Ortsdosis und von maximal 1,0 mSv aus der Ortsdosisleistung. Damit ist die Abschätzung der Ersatzdosis über die jeweiligen Nachweisgrenzen der eingesetzten Filmdosimeter konservativ für Zeiträume, in denen ein direkter Umgang mit radioaktiven Abfällen erfolgte, und für die noch keine ausreichenden Daten der Ortsdosisleistungsmessung im Grubengebäude vorhanden waren. Die monatlichen Werte der Personendosimetrie (bzw. der jeweiligen Nachweisgrenze) werden kalenderjährlich aufaddiert zur externen Jahresdosis.

Phase nach der Einlagerung und Umlagerung 1981 – 2008:

Nach Abschluss der Einlagerungs- und Umlagerungsarbeiten wurden die zugänglichen Einlagerungsbereiche nur noch zu Überwachungszwecken betreten. Für diese Zeit liegen Messwerte der Ortsdosisleistung (in nSv/h) vor, die mehrmals jährlich erhoben wurden. Für jeden Messort wird ein repräsentativer Jahreswert durch das arithmetische Mittel der Messwerte in diesem Jahr gebildet.

Es wird angenommen, dass sich die Beschäftigten für die Durchführung von Überwachungsarbeiten jeweils eine Stunde im Monat, d.h. 12 Stunden im Jahr, auch an jedem der Messorte aufgehalten haben, deren Messstellen in Tabelle 5.3.1 unter der Überschrift "Nur kurzer Aufenthalt wahrscheinlich" aufgelistet sind, und sich auch je 12 Stunden im Jahr in der Beschickungskammer 8a auf der 490-m-Sohle (Tabelle 5.3.2) und vor der Strahlenschutzmauer auf der 511-m-Sohle (Tabelle 5.3.3) aufhielten. Deshalb wird für diese Messorte die jeweils ermittelte durchschnittliche Ortsdosisleistung mit 12 Stunden multipliziert. Dabei wird für die Kammern, in denen es mehrere Messstellen gab (insbesondere für die MAW-Beschickungskammer 8a und die Umgebung der Strahlenschutzmauer der MAW-Einlagerungskammer), der jeweils höchste durchschnittliche Jahresmesswert angenommen. Dann wird für jedes Jahr der Mittelwert über alle Messstellen, die in Tabelle 5.3.1 unter "Häufiger Aufenthalt wahrscheinlich" genannt sind, gebildet. Dieser Wert wird mit 1904 Stunden

multipliziert. Diesen Berechnungen liegt die konservative Annahme zu Grunde, dass die Beschäftigten insgesamt 2000 Stunden im Jahr exponiert waren und sich dabei 96 Stunden an den oben genannten Messorten, an denen „nur kurzer Aufenthalt wahrscheinlich“ ist, (6 Messorte aus Tabelle 5.3.1 sowie die Kammer 8a auf der 490-m-Sohle und der Bereich vor der Strahlenschutzmauer auf der 511-m-Sohle) aufgehalten haben. Liegen für Messstellen ab 1981 noch keine Messwerte vor (z.B. beginnen die Messungen in der MAW-Beschickungskammer 8a erst 1985), so werden die Durchschnittswerte des ersten Jahres, in dem Messungen stattfanden, mit einer angenommenen Halbwertszeit von 5 Jahren, die in etwa der von Co-60 entspricht, zurück extrapoliert und für das betrachtete Jahr verwendet:

$$ODL(t) = ODL(t_0) \cdot e^{-\frac{\ln(2) \cdot (t_0 - t)}{5}}$$

wobei $ODL(t)$ die durchschnittliche Ortsdosisleistung im Betrachtungsjahr t ist und t_0 das erste Jahr, in dem Messungen der Ortsdosisleistung durchgeführt wurden. Der zeitliche Verlauf der Ortsdosisleistung zeigt, dass diese Annahme für die Extrapolation konservativ ist, wie in Abbildung 8.1 am Beispiel einer Messstelle zu erkennen ist:

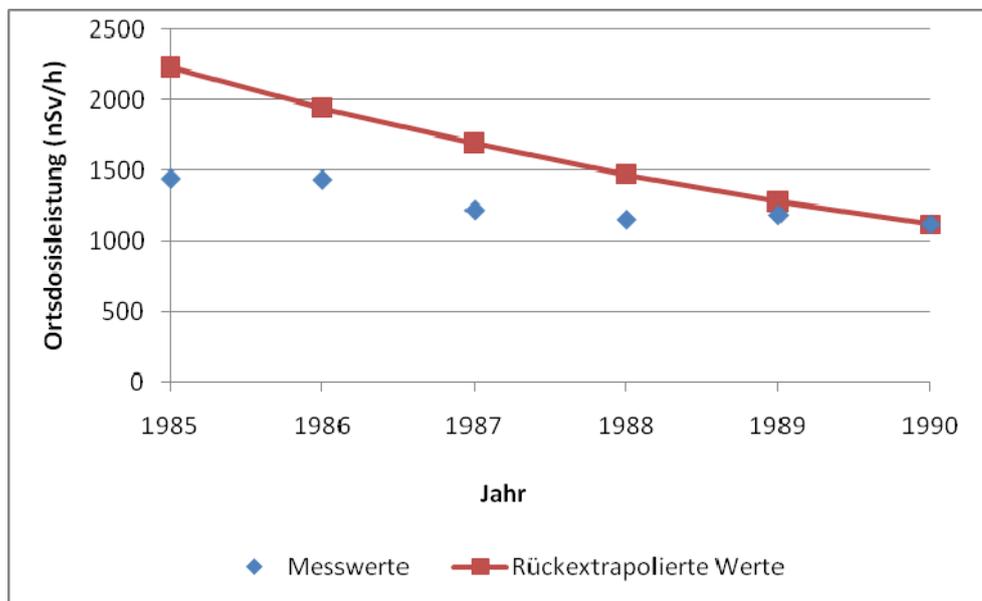


Abb. 8.1: Messwerte der durchschnittlichen jährlichen Ortsdosisleistung an Messstelle DL9 in Kammer 8a und aus dem Jahr 1990 rückextrapolierte Werte

Liegen für spätere Zeiträume keine Messwerte mehr vor (z.B. weil Einlagerungskammern verschlossen wurden und somit nicht mehr zugänglich waren), so entfällt zwangsläufig der entsprechende Dosisbeitrag. Aus Gründen der Vereinfachung des Quantifizierungsverfahrens wurde als Basisgröße die Aufenthaltszeit in der Grube an Orten, die als mit "Häufiger Aufenthalt wahrscheinlich" eingestuft waren mit 1904 Stunden im Jahr konstant gehalten. Dadurch sinkt die Gesamtstundenzahl in der Grube von 2000 Stunden im Jahr 1980 mit zunehmenden Verschluss von Einlagerungskammern bzw. von Zugängen auf 1952 Stunden im Jahr 2008. Diese angenommenen Stundenzahlen sind dennoch konservativ gegenüber den realen Aufenthaltszeiten der Beschäftigten der Schachanlage Asse II in der Grube.

In den Fällen, in denen ab 1981 positive Werte der Personendosis vorliegen, wird diese konservativ zu der auf Grundlage der Ortsdosisleistungsmessungen abgeleiteten individuellen Jahresdosis dazu addiert.

8.2 Bestimmung der internen Dosis

Es wird davon ausgegangen, dass eine Aktivitätszufuhr nur über Inhalation oder (für tritiiertes Wasser) über die intakte Haut erfolgt.

Es werden hier Dosisbeiträge durch Radon, Tritium und gemessene Aktivitätskonzentrationen im Luftstaub abgeschätzt. C-14-Messungen durch Brenk Systemplanung /Bre 09a/ zeigten geringe Aktivitätskonzentrationen im Vergleich zu den H-3 (= Tritium)-Messungen. Da auch der Dosiskoeffizient für mit C-14 markiertes Kohlenstoffdioxid (C-14)O₂ niedriger ist als der Dosiskoeffizient für tritiiertes Wasser, führt C-14 somit zu einem entsprechend geringeren Dosisbeitrag als Tritium. Der Dosisbeitrag durch C-14 wird daher im Rahmen des vorliegenden Quantifizierungskonzepts von der Projektgruppe GM Asse gegenüber Tritium als vernachlässigbar bewertet.

Dosis durch Radon und seine Zerfallsprodukte

Ab 1989 liegen Messungen der Radon-Aktivitätskonzentration in der Grube vor. Vor 1989 gab es keine Radonmessungen, allerdings Messungen der Gesamt-Alpha- und Gesamt-Beta-Aktivität der kurzlebigen Radionuklide. Diese ist überwiegend auf die kurzlebigen Radon-Folgeprodukte zurückzuführen. Aus der Summe der kurzlebigen Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration und der Gesamt-Beta-Aktivitätskonzentration wird durch Division durch 2 die Radon-Aktivitätskonzentration am jeweiligen Messort abgeschätzt. Dieser Quotient spiegelt ein plausibles Aktivitätskonzentrationsverhältnis zwischen Radon und seinen Folgeprodukten wider. Ein Vergleich zwischen Messungen der Radon-Aktivitätskonzentration und der kurzlebigen Gesamt-Alpha- und Gesamt-Beta-Aktivitätskonzentration zeigt, dass die Radon-Aktivitätskonzentration durch Division durch 2 aus der kurzlebigen Gesamt-Alpha- und Gesamt-Beta-Aktivitätskonzentration abgeschätzt werden kann.

Quantifizierungskonzept für die Zeitperiode 1989 – 2008

Seit 1989 gibt es Messungen der Radon-Aktivitätskonzentration an mehreren Stellen in der Grube. Dabei ist für die Messstellen Rolloch Wendelstr. (700-m-Sohle), Kammer 7 südlicher Stoß (725-m-Sohle), Kammer 7 Lüfter (725-m-Sohle) und Kammer 7/8 Durchhieb (725-m-Sohle) aus Gründen der Arbeitssicherheit oder aus Gründen der Zugänglichkeit ein Aufenthalt auszuschließen. Für die übrigen Messstellen, die sich unter Tage befinden, und in deren Nähe ein Aufenthalt von Personen möglich ist, wird jeweils der Mittelwert über die Messwerte eines Jahres gebildet. Diese Jahresmittelwerte werden wiederum über alle betrachteten Messstellen gemittelt. Dieser Gesamtmittelwert (in Bq/m³) wird multipliziert mit dem Dosiskoeffizienten für Rn-222 und seine Folgeprodukte in Höhe von 0,0072 mSv m³/Bq, um aus der Radonkonzentration die effektive Jahresdosis durch Radon und seine Zerfallsprodukte in mSv abzuschätzen. Diesem Umrechnungsfaktor liegen der Dosiskoeffizient für Rn-222 und seine Folgeprodukte aus der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV § 95 (4)) /STR 01/ und die Annahme einer Aufenthaltszeit von 2000 Stunden im Jahr sowie eines Gleichgewichtsfaktors von 0,5 zu Grunde.

Quantifizierungskonzept für die Zeitperiode 1981 – 1988

Für die Zeit nach der Ein- und Umlagerungsphase, d. h. ab 1981, wird angenommen, dass die Beschäftigten sich überwiegend im Umfeld der Messorte aufgehalten haben, die in Tabelle 5.5.2 unter der Überschrift "Häufiger Aufenthalt möglich" aufgelistet sind. Für die Mess-

orte, für die nur ein kurzer Aufenthalt wahrscheinlich ist, wird analog zum Verfahren zur Abschätzung der externen Dosis jeweils eine Stunde Aufenthalt pro Monat angenommen. Für alle Messorte (außer den Einlagerungskammern) wird für jedes Jahr die durchschnittliche kurzlebige Gesamt-Alpha- und Gesamt-Beta-Aktivitätskonzentration gebildet. Diese wird für die Messorte, an denen nur ein kurzer Aufenthalt wahrscheinlich ist, mit einer jährlichen Aufenthaltsdauer von 12 Stunden multipliziert. Zusätzlich wird angenommen, dass ein Beschäftigter je 15 Minuten im Monat mit der Messung der Aktivitätskonzentration in der Luft der verschlossenen Einlagerungskammern, die in Tabelle 5.5.2 unter der Überschrift "Aus der Beprobung verschlossener Einlagerungskammern" aufgelistet sind, beschäftigt war. Unter Berücksichtigung der Verdünnung der Aktivitätskonzentration in der Luft der Einlagerungskammern (20 m³, die über 15 Minuten abgesaugt wurden) in der Strecke, wo eine Bewetterung mit 200 m³/h stattfand, um den Faktor 150, wird für jede dieser verschlossenen Einlagerungskammern der Wert mit dem Faktor 0,02 (= 3/150, entspricht 3 Stunden jährliche Exposition und Verdünnung der Aktivitätskonzentration um den Faktor 150) multipliziert. Für die Messorte, an denen ein längerer Aufenthalt anzunehmen ist, werden die durchschnittlichen Jahreswerte gemittelt, und dieser Mittelwert wird mit 1901 multipliziert. Die zu 2000 Stunden fehlenden 99 Stunden ergeben sich aus 84 Stunden an den 7 Messorten, an denen nur ein kurzer Aufenthalt wahrscheinlich ist (jeweils 12 Stunden pro Jahr) und 15 Stunden an den 5 Beprobungs-Messorten (jeweils 3 Stunden pro Jahr). Somit ergibt sich wiederum die einer konservativen Annahme entsprechende Gesamtexpositionszeit von 2000 Stunden. Zur Berechnung der jährlichen Radonexposition werden alle so aus der kurzlebigen Gesamt-Alpha- und Gesamt-Beta-Aktivitätskonzentration ermittelten Werte für jedes Jahr aufaddiert und die Summe durch 2 dividiert. Durch Multiplikation mit dem Umrechnungsfaktor $3,6 \cdot 10^{-6}$ wird die effektive Jahresdosis (in mSv) für die Beschäftigten ermittelt. Dieser Umrechnungsfaktor ergibt sich aus der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV § 95 (4)) /STR 01/ und der Annahme eines Gleichgewichtsfaktors von 0,5.

Quantifizierungskonzept für die Zeitperiode 1967 – 1980

Für die Ein- und Umlagerungsphase (1967-1980) wird angenommen, dass etwa ein Drittel der Arbeitszeit in den Einlagerungskammern (die in Tabelle 5.5.2 unter der Überschrift "Aufenthalt während der Ein- und Umlagerungszeit möglich" aufgelistet sind) verbracht worden ist. Deshalb wird der Mittelwert der kurzlebigen Gesamtaktivität an den Messorten, an denen ein häufiger Aufenthalt möglich ist, nur mit 1267 Stunden (das sind zwei Drittel der oben angenommenen Aufenthaltsdauer von 1901 Stunden) multipliziert. Zusätzlich wird der durchschnittliche Jahresmittelwert für die Einlagerungskammern mit der angenommenen Aufenthaltsdauer von 634 Stunden multipliziert. Für die Messorte, die in Tabelle 5.5.2 unter den Überschriften "Nur kurzer Aufenthalt wahrscheinlich" bzw. "Aus der Beprobung verschlossener Einlagerungskammern" aufgelistet sind, wird vorgegangen wie oben für die Zeitperiode 1981 - 1988 beschrieben. Dann wird durch Summierung der verschiedenen aus der kurzlebigen Gesamt-Alpha- und Gesamt-Beta-Aktivitätskonzentration ermittelten Werte und Division dieser Summe durch 2 eine jährliche Radon-Exposition und daraus eine effektive Dosis für die Beschäftigten ermittelt.

Da kein eindeutiger zeitlicher Trend vorzuliegen scheint, wird für Jahre, für die noch keine Messungen der kurzlebigen Gesamt-Alpha- und Gesamt-Beta-Aktivitätskonzentration vorliegen, der Maximalwert der ersten fünf Jahre, in denen Messungen stattfanden, übernommen.

Dosis durch Tritium

Für die Zeit ab 1981, d.h. nach der Ein- und Umlagerungsphase, wird bei der Bestimmung der Tritiumdosis analog zur Bestimmung der Radondosis in 8.2.1.1 vorgegangen. Für die Messorte, für die nur ein kurzer Aufenthalt wahrscheinlich ist, wird jeweils eine Stunde Aufenthalt pro Monat angenommen. Für alle Messorte (außer den Einlagerungskammern) wird für jedes Jahr die durchschnittliche Tritium-Aktivitätskonzentration berechnet. Diese wird für die Messorte, an denen nur ein kurzer Aufenthalt wahrscheinlich ist, mit einer Aufenthaltsdauer von 12 Stunden multipliziert. Zusätzlich wird angenommen, dass ein Beschäftigter je 15 Minuten im Monat mit der Messung der Aktivitätskonzentration in der Luft der verschlossenen Einlagerungskammern, die in Tabelle 5.5.5 unter der Überschrift "Aus der Beprobung verschlossener Einlagerungskammern" aufgelistet sind, beschäftigt war. Die Verdünnung wird analog zum Vorgehen bei Radon berücksichtigt. Für die Messorte, an denen ein Aufenthalt wahrscheinlich ist, werden die durchschnittlichen Jahreswerte gemittelt, und dieser Mittelwert wird mit einer Aufenthaltsdauer von 1931 Stunden multipliziert. Die zu 2000 Stunden fehlenden 69 Stunden ergeben sich aus 60 Stunden an den 5 Messorten an denen nur ein kurzer Aufenthalt wahrscheinlich ist (je 12 Stunden) und 9 Stunden an den 3 Beprobungs-Messorten (jeweils 3 Stunden). Somit ergibt sich insgesamt wieder eine angenommene Aufenthaltsdauer von 2000 Stunden. Zur Berechnung der jährlichen Tritiumdosis werden alle so ermittelten Werte für jedes Jahr aufaddiert. Diese Summe wird multipliziert mit dem Faktor $3,2 \cdot 10^{-8} \text{ mSv m}^3 / (\text{Bq h})$. Dieser Wert setzt sich zusammen aus der Standard-Atemrate für beruflich Strahlenexponierte ($1,2 \text{ m}^3/\text{h}$) /ICR 94a/, aus dem Dosiskoeffizienten für Inhalation von tritiiertem Wasser ($1,8 \cdot 10^{-11} \text{ Sv/Bq}$) für Erwachsene /ICR 94 b/ und der Annahme, dass zusätzlich 50% der inhalierten Aktivität über die intakte Haut aufgenommen wird /ICR 79/.

Für die Zeit der Ein- und Umlagerungsphase (1967-1980) wird angenommen, dass etwa ein Drittel der Arbeitszeit in den Einlagerungskammern (die in Tabelle 5.5.3 unter der Überschrift "Aufenthalt während der Ein- und Umlagerungszeit möglich" aufgelistet sind) verbracht wird. Deshalb wird der Mittelwert der kurzlebigen Gesamtaktivität an den Messorten, an denen ein häufiger Aufenthalt möglich ist, nur mit 1295 Stunden (das sind zwei Drittel des sich für diesen Zeitraum ergebenden Wertes von 1943 Stunden) multipliziert. Zusätzlich wird der durchschnittliche Jahreswert in den Einlagerungskammern mit 648 Stunden multipliziert. Bei der Berechnung der Tritiumdosis für die Messorte, die in Tabelle 5.5.1 unter den Überschriften "Nur kurzer Aufenthalt wahrscheinlich" bzw. "Aufenthalt nur während der Beprobung verschlossener Einlagerungskammern" aufgelistet sind, wird analog vorgegangen wie für die Zeitperiode nach 1981.

Für die Jahre 1967 bis 1971 liegen noch keine Messwerte der Tritium-Aktivitätskonzentration in Luft vor. Da bei den Messwerten kein eindeutiger zeitlicher Trend zu erkennen ist, wird für diese Jahre für jede Messstelle der Maximalwert der durchschnittlichen Jahreswerte der nachfolgenden fünf Jahre als Schätzer für den Messwert angenommen.

Dosis durch Aktivität im Luftstaub

Messungen der kurz- und langlebigen Gesamt-Alpha- und -Beta-Aktivität im Luftstaub sowie nuklidspezifische Messungen der Aktivitätskonzentration in Luft fanden seit Beginn der Einlagerung radioaktiver Abfälle statt.

Nimmt man sehr konservativ an, dass ein Beschäftigter 2000 Stunden im Jahr sich in Bereichen aufgehalten hat, in denen die gemäß Tabelle 5.5.1 maximale Aktivitätskonzentration herrschte, so ergibt sich für die meisten Nuklide eine Jahresdosis, die (teilweise deutlich) unter einer effektiven Jahresdosis von 1 μSv liegen. Auch in der Summe ergibt sich eine effektive Dosis von weniger als 2 μSv , wenn man Pb-210 und die Plutoniumisotope ausklammert. Für die Plutoniumisotope ergibt sich mit dieser konservativen Annahme eine Dosis von je knapp 10 μSv für Pu-238 bzw. für Pu-239/240 und für den maximalen Wert für Pb-210 eine effektive Dosis von 0,9 mSv. Dabei wurde dieser maximale Wert allerdings im Jahr 2008 an der Einlagerungskammer 10 gemessen, wobei die Annahme eines langen Aufenthaltes dort nicht angemessen ist. Alle anderen Messwerte für Pb-210, auch an Orten, an denen ein Aufenthalt unwahrscheinlich ist, sind mindestens um den Faktor 35 niedriger.

Die kurzlebige Gesamt-Alpha- und -Beta-Aktivität kann den kurzlebigen Radon-Zerfallsprodukten zugeordnet werden. Deren Dosisbeitrag wurde bei der Dosis durch Radon mit berücksichtigt.

Für die Bewertung der langlebigen Gesamt-Alpha- und -Beta-Aktivitätskonzentration wird analog vorgegangen wie bei der Berücksichtigung der kurzlebigen Gesamt-Alpha- und -Beta-Aktivitätskonzentration zur Abschätzung der Radondosis in den Jahren vor 1989. Es werden dieselben Aufenthaltswahrscheinlichkeiten an den Messorten angenommen und eine Jahresexposition (in $\text{Bq h} / \text{m}^3$) berechnet.

Die Messergebnisse für die langlebige Gesamt-Alphaaktivität lagen oft unter der Nachweisgrenze. In diesen Fällen wurde konservativ die Nachweisgrenze als Schätzer für den Messwert angenommen. Falls für eine Messstelle und ein Jahr keine Messwerte für die Gesamt-Alphaaktivität vorliegen, wurde die Hälfte des entsprechenden Messwertes der Gesamt-Betaaktivität als Schätzer für die Gesamt-Alphaaktivität verwendet.

Aus den nuklidspezifischen Messungen geht hervor, dass die langlebige Gesamt-Beta-Aktivität überwiegend mit Pb-210 (aus der Radon-Zerfallskette) verknüpft ist, welches zudem unter den gemessenen Beta-Emittern den höchsten Dosiskoeffizienten hat. Konservativ wurde daher angenommen, dass die Gesamt-Beta-Aktivitätskonzentration durch Pb-210 verursacht wird. Zur Berechnung der effektiven Dosis (in Sv) durch die langlebige Gesamt-Beta-Aktivitätskonzentration wird die ermittelte Gesamt-Beta-Jahresexposition multipliziert mit der Standard-Atemrate nach ICRP für beruflich Strahlenexponierte von 1,2 m^3/h /ICR 94a/ und dem Dosiskoeffizienten für Pb-210 aus ICRP-Publikation 68 /ICR 94b/. Dieser beträgt $1,1 \cdot 10^{-3} \text{ mSv/Bq}$.

Die nuklidspezifischen Messungen (siehe Tabelle 5.5.1) enthalten Ra-226, Pu-238 und Pu-239/240 als langlebige Alpha-Emitter. Dabei gibt es für Ra-226 nur einen Messwert (1990: 63 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$) von der Wetterstrecke. Gleichzeitig lagen dort die Messwerte für die Plutoniumisotope unter der Nachweisgrenze von 0,03 bzw. 0,05 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Als langlebiger Alpha-Emitter ist weiterhin Po-210 aus der Radon-Zerfallsreihe zu erwarten, für den allerdings keine Messwerte vorliegen. Po-210 hat gemäß ICRP-Publikation 68 denselben maximalen Dosiskoeffizienten wie Ra-226 /ICR 94b/. Der Plutoniumanteil an der Gesamt-Alpha-Aktivität wird hier konservativ mit 10% angenommen. Zur Berechnung der effektiven Dosis (in Sv) durch die langlebige Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration wird somit die ermittelte Gesamt-Alpha-Jahresexposition multipliziert mit der Standard-Atemrate nach ICRP für beruflich Strahlenexponierte von 1,2 m^3/h /ICR 94a/ und dem Dosiskoeffizienten gemäß ICRP-Publikation 68

/ICR 94b/ $5,1 \cdot 10^{-3}$ mSv/Bq, der mit der genannten Annahme zur Nuklidzusammensetzung ermittelt wurde.

8.3 Bestimmung der Dosis durch Aktivität in Salzlösungen

Wie in Kapitel 5.6 dargestellt, wird die Aktivität in den Laugen insbesondere durch Tritium und durch Cs-137 bestimmt, deren Aktivitätskonzentration um Größenordnungen höher ist als die anderer gemessener Radionuklide. Deshalb ist es ausreichend, den Dosisbeitrag dieser beiden Radionuklide zu berücksichtigen.

Hierbei sind folgende Expositionspfade zu berücksichtigen:

- Externe Exposition aus den Laugesümpfen bzw. den Transportbehältern;
- Externe Exposition durch Aktivität auf Haut oder Kleidung;
- Verschlucken (unbeabsichtigte Ingestion) kleiner Flüssigkeitsmengen, z.B. mittels Hand-Mund-Kontakt;
- Einatmen (Inhalation) von tritiiertem Wasser (HTO) infolge von Verdunstung von HTO aus den Laugesümpfen oder den Sammel- und Transportbehältern;
- Eindringen (Permeation) von HTO durch die intakte Haut.

Dabei überwiegt für Cs-137 die externe Exposition, während für HTO die interne Exposition durch Inhalation bzw. Aufnahme über die intakte Haut überwiegt. Der Expositionspfad Ingestion wird hier nicht betrachtet, da wegen des hohen Salzgehalts der Laugen höchstens die Ingestion sehr kleiner Mengen denkbar ist, da größere Mengen erbrochen würden.

Für die Bestimmung der Dosis durch die Aktivität in den Laugen wird von einem Umgang mit diesen kontaminierten Laugen (Umpumpen der Lauge in Transport- und Vorratsbehälter, Transport der Behälter, Bedienung der Betonmischmaschine, Verarbeitung des Salzbetons) ausgegangen. Die Aktivitätskonzentrationen in den Laugen sind unterschiedlich hoch. Es wird hier angenommen, dass ein Beschäftigter im Jahr nicht mehr als 40 Stunden mit hochaktiven Laugen, wie sie insbesondere im Laugensumpf vor Kammer 12 zu finden sind, umgeht. Dieses Szenario umfasst jedoch auch die Annahme, dass ein Beschäftigter länger mit Laugen umgeht, diese dafür mit Laugen aus anderen Bereichen verdünnt sind.

Unter dieser Annahme eines 40-stündigen Umgangs mit der Lauge vor Kammer 12 errechnet sich mit dem Dosiskoeffizienten aus /BRE 09b/ eine externe Dosis von maximal 41 μ Sv pro Jahr, wobei dieser Maximalwert im Jahr 2007 erreicht wird. In den Jahren vor 2006 ist dieser Wert (teils deutlich) weniger als 13 μ Sv pro Jahr.

Geht man für die oben angenommene Expositionszeit von einer zusätzlichen externen Dosis durch Kontamination der Haut oder Kleidung aus, so errechnet sich mit der Annahme, dass ca. 0,1 l Salzlösung an der Haut haften bleibt /BRE 09b/, und mit den Dosiskoeffizienten von /HEN 85/ eine effektive Dosis von maximal 0,4 μ Sv pro Jahr. Deshalb kann dieser Expositionspfad vernachlässigt werden, auch wenn man berücksichtigt, dass an der Kleidung eventuell mehr Aktivität haften bleibt als auf der Haut.

Nimmt man ferner an, dass sich durch Verdunstung der tritiumhaltigen Lauge 4 ml Wasser-³HTO-Gemisch in 1 m³ Luft befinden /BRE 94b/, so ergibt sich mit der Standardannahme für die Atemrate von 1,2 m³/h /ICR 94a/ und der Berücksichtigung, dass zusätzlich 50% der eingeatmeten Aktivität über die Haut aufgenommen wird /ICR 79/, mit dem Dosiskoeffizienten aus /ICR 94b/ eine effektive jährliche Dosis von maximal 17 µSv (bei Zugrundelegung des oben genannten Szenarios).

Wegen des Dosisbeitrags der von wenigen Ausnahmen abgesehen kleiner war als 20 µSv, werden Dosisbeiträge durch Umgang mit kontaminierten Laugen im Quantifizierungskonzept des GM Asse nicht für die Gesamtheit der Gruppe der Beschäftigten berücksichtigt. Bei Dosisabschätzungen für einzelne Beschäftigte kann dieser Beitrag jedoch berücksichtigt werden.

8.4 Inkorporationen bei Kontaminationsereignissen

In Kapitel 5.7 wurden drei größere Kontaminationsereignisse unter Tage näher behandelt. Dort wurden folgende möglichen Werte der effektiven Dosis für Beschäftigte, die während des Kontaminationsereignisses tätig waren, abgeschätzt:

- bei Tätigkeiten unter Tage im Dezember 1973 oder Anfang des Jahres 1974 eine effektive Dosis von 0,95 mSv,
- bei Tätigkeiten unter Tage im Oktober oder November 1974 eine effektive Dosis von 1,3 mSv,
- bei Tätigkeiten unter Tage im September 1980 eine effektive Dosis von 0,35 mSv.

Das vierte Ereignis fand am 28.12.1978 über Tage mit einem kontaminierten LKW vom Kernforschungszentrum Karlsruhe (KfK) statt. Die abgeschätzte Dosis betrug 29 µSv.

Entsprechend den bei der Auswertung dieser vier Kontaminationsereignisse gemachten Erfahrungen kann die effektive Dosis E (in mSv) anhand der kontaminierten Fläche F (in m²) und der Flächenkontamination K (in den Aufzeichnungen gegeben als µCi/cm²) mittels eines Umrechnungsfaktors $DK = 0,8 \text{ mSv cm}^2 / (\text{m}^2 \text{ µCi})$ konservativ berechnet werden, wenn es sich nicht überwiegend um Alpha-Emitter handelt: $E = F \cdot K \cdot DK$. Damit errechnet sich für alle übrigen Kontaminationsfälle eine effektive Dosis von weniger als 20 µSv.

Die Dosis durch Kontaminationsereignisse wurde quantifiziert, aber wird nicht bei der Berechnung der Strahlenexpositionen der Beschäftigtengruppe GM Asse insgesamt berücksichtigt, sondern nur bei der Berechnung der Strahlenbelastungen einzelner Beschäftigter, die während der Kontaminationsereignisse tätig waren.

9 Ergebnisse der Quantifizierung der Strahlenexposition

9.1 Geschätzte jährliche effektive Dosis

Effektive Dosis durch externe Strahlung

Wie in Kapitel 8.1 beschrieben, wurde die individuelle Dosis durch externe Strahlung aus den vorhandenen Daten der amtlichen und betrieblichen Personendosimetrie während der Einlagerungs- und Umlagerungsphase (1967-1980) und für den Zeitraum danach zusätzlich aus den Ortsdosisleistungsmessungen in der Grubenluft für alle Personen der Beschäftigtengruppe GM Asse abgeleitet. Dabei wurden Abschätzverfahren angewandt, die von konservativen Annahmen zu Strahlenexposition und Aufenthaltszeiten in der Grube ausgehen. Für die gesamte Beschäftigtengruppe GM Asse wird angenommen, dass er oder sie während des kompletten Beschäftigungszeitraums ganztägig unter Tage gearbeitet hat. Auch wurden für den Zeitraum 1967 bis 1980 konservativ die jeweils gültigen Nachweisgrenzen der Filmdosimeter der amtlichen und betrieblichen Personendosimetrie verwendet, falls kein positiver Messwert vorhanden war. Abbildung 9.1.1 zeigt für jedes Kalenderjahr den arithmetischen Mittelwert und das Maximum der so geschätzten Dosis durch externe Strahlung in mSv für die Beschäftigtengruppe GM Asse.

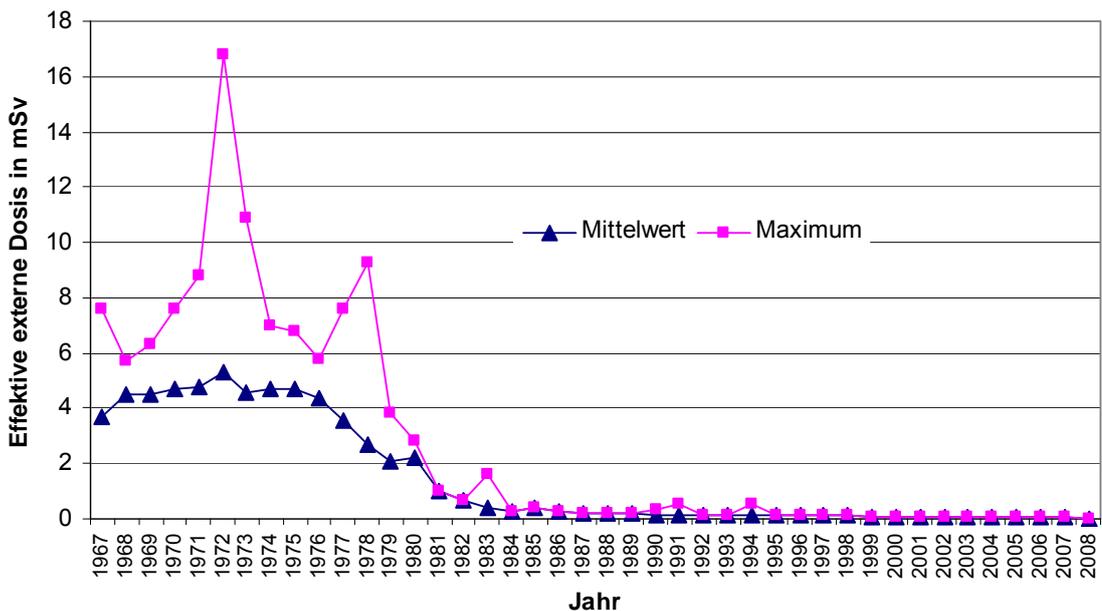


Abb 9.1.1: Zeitlicher Verlauf der durchschnittlichen und maximalen geschätzten jährlichen effektiven Dosis durch externe Strahlung in mSv für die Beschäftigtengruppe GM Asse

Die höchste effektive Dosis aus externer Strahlung wird 1972 mit einem Messwert von knapp 17 mSv beobachtet. Ab 1984 treten nur noch Dosen unterhalb von 1 mSv auf. In den Anfangsjahren von 1967 bis Juni 1978 lag die Nachweisgrenze der Filmdosimeter bei 0,4 mSv pro Monat, dies ergibt multipliziert mit 12 Monaten 4,8 mSv pro Jahr. Wie in der Abbildung 9.1.1 zu sehen, ergeben sich für einzelne Jahre im Mittel etwas geringere Werte

als 4,8. Dies ergibt sich daraus, dass im Jahr 1967 im April mit der Einlagerung begonnen wurde und für die Jahre 1968 bis 1977 der Beschäftigungsbeginn neuer Mitarbeiter bzw. das Beschäftigungsende ausscheidender Mitarbeiter variiert und von daher nicht zwingend bei Januar bzw. Dezember liegt. Ab dem Juli 1978 bis zum Juli 2001 lag die Nachweisgrenze bei 0,2 mSv im Monat und danach bei 0,1 mSv im Monat. Auch für den Zeitraum bis Ende der Umlagerung (Ende 1980) ergeben sich durch Mitarbeiterwechsel im Mittel etwas geringere Jahreswerte als das 12-fach der jeweils anzuwendenden Nachweisgrenzen der Filmdosimeter.

Effektive Dosis durch interne Strahlung

Wie in Kapitel 8.2 beschrieben, wurde bei der Ermittlung der effektiven Dosis durch interne Strahlung die Inhalation von Radon und seinen Folgeprodukten und von Tritium in der Grubenluft sowie von langlebigen Radionukliden im Luftstaub berücksichtigt. Da nicht von allen Beschäftigten bekannt ist, wann und wie lange sie unter Tage gearbeitet haben und vor allem in welchen Bereichen, wurde auch hier konservativ angenommen, dass sich jeder Beschäftigte während des gesamten Beschäftigungszeitraums ganztägig unter Tage aufgehalten hat. Pro Jahr wurde ein nach geschätzter Aufenthaltszeit gewichteter Mittelwert über die in Tabelle 5.5.6 für Radon, Tabelle 5.5.7 für Tritium bzw. Tabelle 5.5.4 und 5.5.5 für langlebige Alpha- und Beta Radionuklide genannten Messstellen gebildet. Dadurch erhält jeder Mitarbeiter und jede Mitarbeiterin den gleichen geschätzten Jahreswert. Abbildung 9.1.2 bis 9.1.4 zeigen den zeitlichen Verlauf der jährlichen geschätzten effektiven Dosis durch Radon und seine Folgeprodukte, Tritium und langlebige Radionuklide im Luftstaub in mSv.

Die geschätzten Jahresdosen durch Radon liegen ab 1976 unter 0,5 mSv. Im Jahr 1973 ergibt sich ein Maximum von 3,5 mSv. Diesem Wert liegen wenige Messungen an einer Messstelle zu Grunde. Bei dieser Messstelle ist nach Einschätzung des Strahlenschutzbeauftragten der Schachtanlage Asse II auch eher nur ein kurzer Aufenthalt möglich. Fehlende Messwerte für die Jahre 1967 bis 1969 wurden unter Berücksichtigung dieses Maximalwertes konservativ extrapoliert. Von daher sind diese Messwerte ebenfalls in der Größenordnung des Maximalwertes.

Die geschätzten Jahresdosen für Tritium (Abbildung 9.1.3) liegen allesamt unter 0,05 mSv bis auf eine Ausnahme im Jahr 1977 mit 0,35 mSv. Auch hier wird das Ergebnis durch eine bestimmte Messstelle bedingt. Die geschätzten Jahresdosen für langlebige Alpha und Beta-Radionuklide liegen unter 0,25 mSv (Abbildung 9.1.4)

Effektive Dosis durch Radon und seine Folgeprodukte in mSv

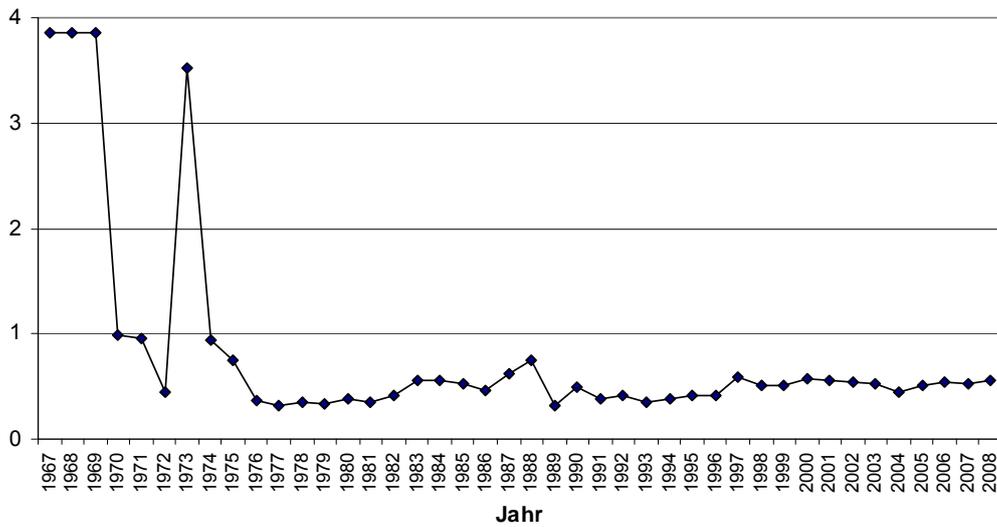


Abb 9.1.2: Zeitlicher Verlauf der geschätzten jährlichen effektiven Dosis durch Radon und seine Folgeprodukte für die Beschäftigtengruppe GM Asse. Jedem Beschäftigten wurde in einem konservativen Ansatz die gleiche Jahresdosis zugeordnet.

Durchschnittliche effektive Dosis durch Tritium [mSv]

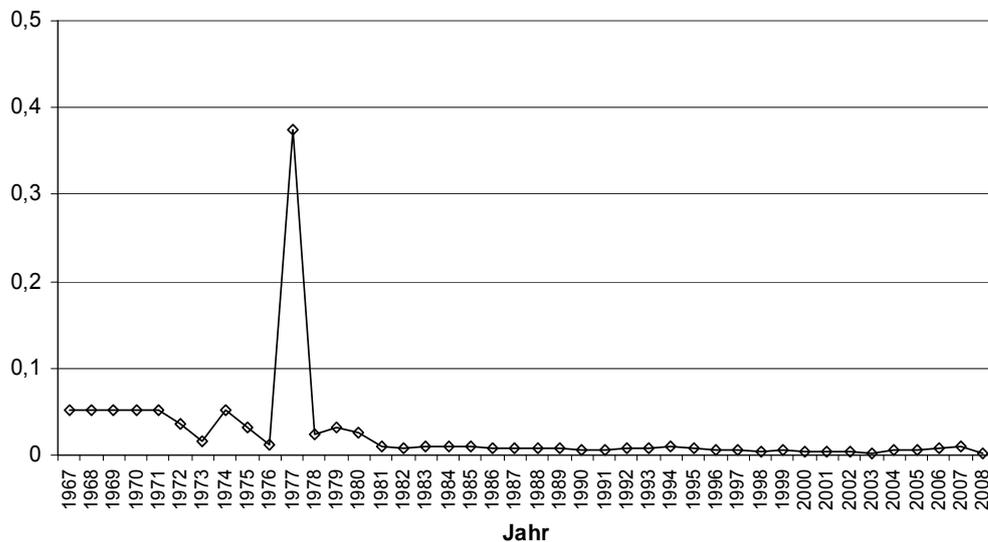


Abb 9.1.3: Zeitlicher Verlauf der geschätzten jährlichen effektiven Dosis durch Tritium für die Beschäftigtengruppe GM Asse. Jedem Beschäftigten wurde in einem konservativen Ansatz die gleiche Jahresdosis durch Tritium zugeordnet.

Effektive Dosis durch langlebige Alpha- und Betastrahlung [mSv]

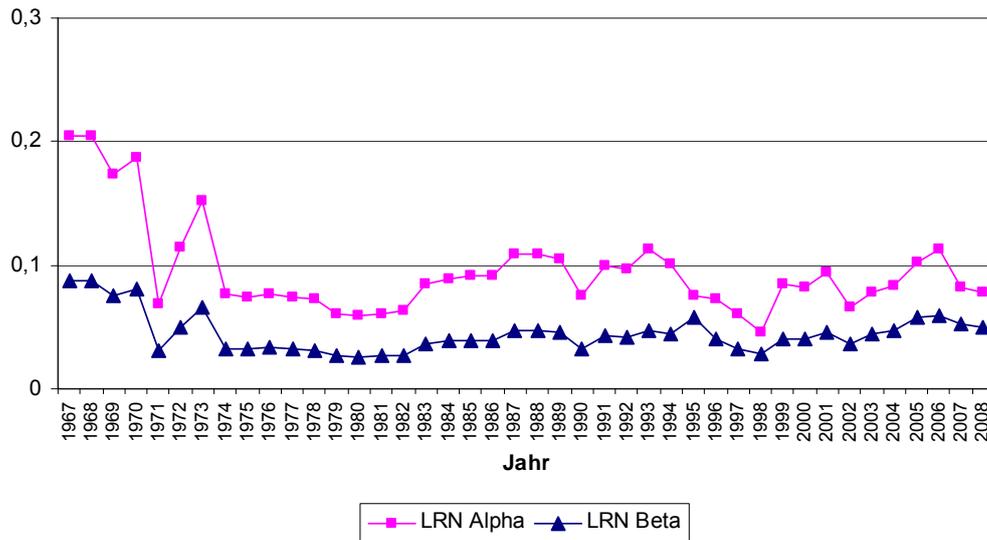


Abb 9.1.4: Zeitlicher Verlauf der geschätzten jährlichen effektiven Strahlendosis durch langlebige Alpha- und Beta-Radionuklide in mSv. Jedem Beschäftigten wurde in einem konservativen Ansatz die gleiche Jahresdosis zugeordnet.

Effektive Gesamtdosis (Externe und interne Strahlung)

Addiert man für jeden Beschäftigten bzw. jede Beschäftigte pro Jahr die Dosis aus externer Strahlung, Radon, Tritium und langlebigen Alpha- und Beta-Radionukliden, so erhält man die geschätzte gesamte effektive Jahresdosis pro Person. Abbildung 9.1.5 zeigt in der Einlagerungsphase deutlich höhere Werte im Vergleich zur Phase nach Einlagerung und Umlagerung. Die höchsten Jahreswerte von 17,4 bzw. 15 mSv finden sich in den Jahren 1972 und 1973. Ab 1973 sinken die Jahreswerte und liegen ab 1985 bei etwa 1 mSv. Die Hauptbeiträge hierzu kommen durch die Dosis aus externer Strahlung und Radon, kleinere Beiträge durch die Dosis aus Tritium und langlebigen Alpha- und Beta-Radionukliden. Der höchste Jahreswert mit 17,4 mSv liegt unter dem damaligen Grenzwert von 50 mSv pro Jahr bzw. dem heutigen Grenzwert von 20 mSv pro Jahr.

Durchschnittliche und maximale jährliche Gesamtdosis [mSv]

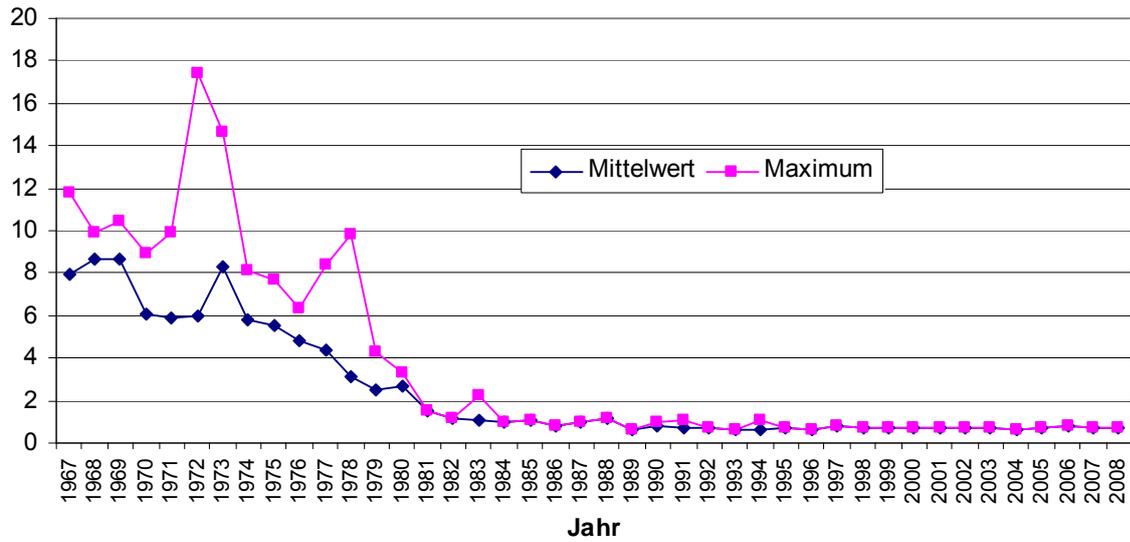


Abb 9.1.5: Zeitlicher Verlauf der durchschnittlichen und maximalen geschätzten jährlichen effektiven Gesamtdosis (extern und intern) für die Beschäftigtengruppe GM Asse

9.2 Geschätzte Berufslebensdosis

Für jeden Beschäftigten wurden zusätzlich die über die Beschäftigungsdauer bei der Schachanlage Asse II erhaltenen jährlichen Gesamtdosen (Summe der Dosen aus externer Strahlung, Radon, Tritium und langlebige Radionuklide im Luftstaub) zur insgesamt erhaltenen effektiven Dosis aufsummiert. Dies ergibt die Berufslebensdosis in der Beschäftigtengruppe GM Asse für den Beschäftigungszeitraum 1967 – 2008 bzw. individuell anteilig bei späterem Beschäftigungsbeginn oder früherem Beschäftigungsende. Tabelle 9.2.1 zeigt die mittlere, minimale und maximale Berufslebensdosis für Personen der Beschäftigtengruppe GM Asse.

Tab. 9.2.1: Verteilung der effektiven Berufslebensdosis für externe Strahlung, Radon, Tritium, langlebige Alpha- und Beta Radionuklide und die Gesamtdosis in mSv für die Beschäftigtengruppe des GM Asse (n = 692)

Strahlenquelle	Arithmetischer Mittelwert	Minimum	Maximum
Externe Strahlung	6,2	0,03	79,3
Radon	4,6	0,32	33,7
Tritium	0,1	0,002	1,0
Langlebige Alpha-Radionuklide	0,7	0,05	3,8
Langlebige Beta-Radionuklide	0,3	0,03	1,8
Gesamt	11,9	0,66	115,2

Die maximale Berufslebensdosis beträgt 115 mSv. Falls jemand an den vier größeren Kontaminationsereignissen in den Jahren 1973, 1974, 1978 und 1980 beteiligt war, wären noch maximal 3 mSv hinzuzuaddieren. Die dann resultierende maximale Gesamtdosis von ca. 120 mSv liegt unter dem Grenzwert für die Berufslebenszeitdosis von 400 mSv. Den Hauptbeitrag zur Strahlendosis liefert die externe Strahlung, gefolgt von Radon, während Tritium und langlebige Radionuklide im Luftstaub einen eher untergeordneten Beitrag liefern.

Ungefähr 75% der im GM Asse betrachteten Beschäftigten weisen eine geschätzte Berufslebensdosis von weniger als 10 mSv auf. Für 7% der Beschäftigtengruppe des GM Asse (n = 41 Personen) wird eine Gesamtdosis von über 50 mSv und für 1% (7 Personen) eine Dosis über 100 mSv, mit dem oben genannten Maximum von 115 mSv (siehe Abbildung 9.2.1) geschätzt. Alle diese Schätzungen stellen jedoch gemäß dem Quantifizierungskonzept eine konservative, d.h. maximale Abschätzung dar.

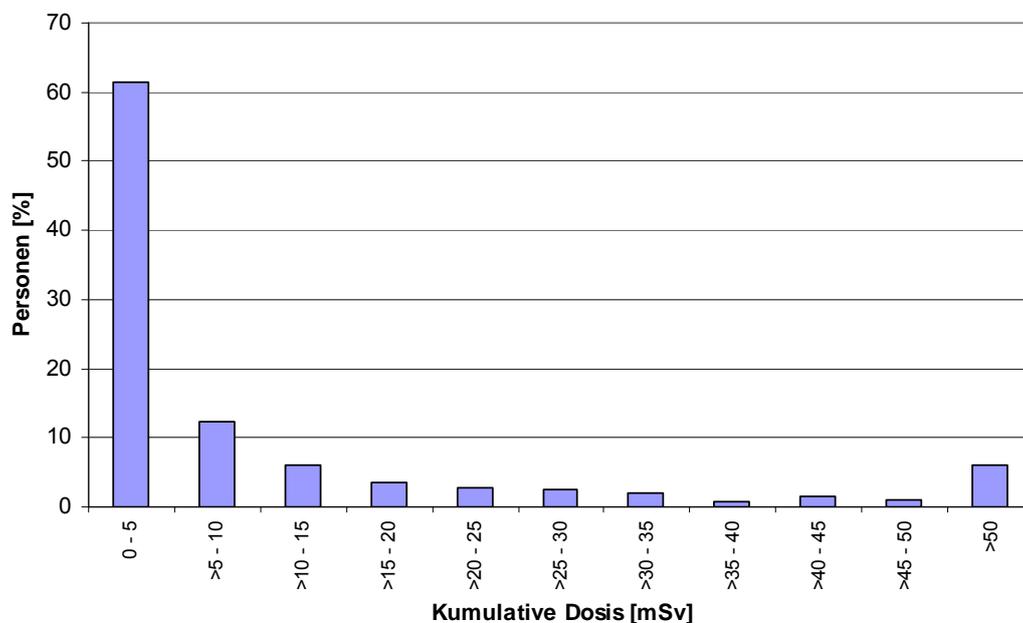


Abb 9.2.1: Verteilung der geschätzten Gesamtstrahlendosis in mSv in der Beschäftigtengruppe des GM Asse

Beschäftigten. Abbildung 9.2.2 zeigt die aufsummierte effektive Dosis pro Jahr sowie die Anzahl der Beschäftigten pro Jahr. Während in der Einlagerungsphase wenige Personen beschäftigt waren und später mehr, ist die insgesamt von der Beschäftigtengruppe GM Asse erhaltene Dosis in den Anfangsjahren der Einlagerung und Umlagerung höher als in der Phase danach.

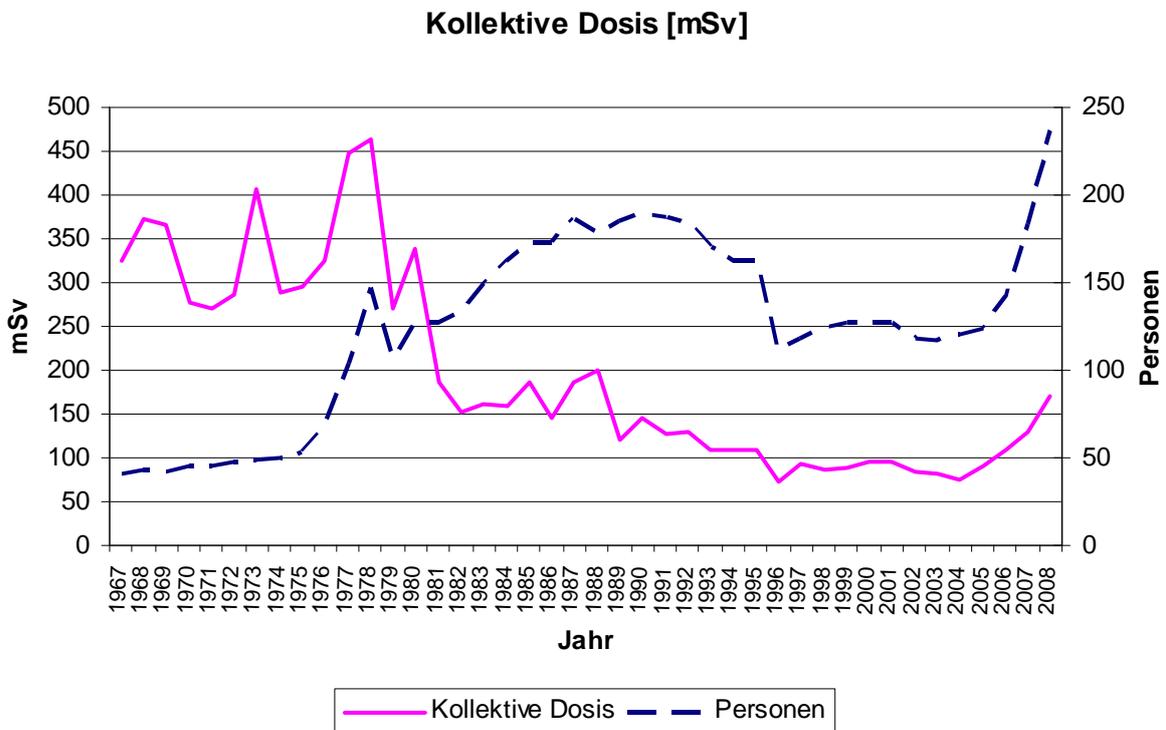


Abb 9.2.2: Zeitlicher Verlauf der aufsummierten effektiven Dosis pro Jahr sowie die Anzahl der Beschäftigten pro Jahr

10 Aussagekraft der Ergebnisse und Ausblick

Ziel des ersten Teils des Gesundheitsmonitorings Asse ist es, die Strahlenexposition der Beschäftigten der Schachtanlage Asse II vom Beginn der Einlagerung im Jahr 1967 bis zum Betreiberwechsel Ende des Jahres 2008 abzuschätzen. Grundlage dafür ist eine möglichst komplette Aufstellung aller Beschäftigten auf der Schachtanlage Asse II seit Beginn der Einlagerung. Gleiches gilt für alle Mitarbeiter von Fremdfirmen, die im genannten Zeitraum auf der Asse gearbeitet haben. Für die Beschäftigten der Schachtanlage Asse II konnte diese Aufstellung nahezu komplett erstellt werden. Dazu mussten Teile der Dokumente aus den frühen Jahren, insbesondere Personal- und Kontrolllisten elektronisch erfasst werden, da diese nur in Papierform vorlagen. Die Erfassung wurde von Mitarbeitern der Asse GmbH durchgeführt und einer Qualitätssicherung auf Fehler unterzogen. Aus Gründen des Datenschutzes konnte die Projektgruppe GM Asse diese personenbezogenen Daten zur Beschäftigung nur hinsichtlich Plausibilität prüfen. Die Projektgruppe GM Asse hat keine

Anhaltspunkte dafür, dass die Liste der Beschäftigten systematische Fehler enthält und geht daher von ihrer Vollständigkeit aus.

Für Mitarbeiter von Fremdfirmen stellt sich die Situation anders dar. Für diese sind keine Beschäftigtenlisten beim Betreiber HMGU bzw. bei der Asse GmbH vorhanden. Sie sind nur den Fremdfirmen bekannt. Auch eine komplette Liste von Fremdfirmen ließ sich nicht mehr recherchieren. Gesicherte Informationen ergeben sich nur für die Mitarbeiter von Fremdfirmen, die vom Strahlenschutz der Schachanlage Asse II in der betrieblichen Personendosimetrie mit überwacht wurden. In der amtlichen Personendosimetrie werden diese Personen über ihren Arbeitgeber erfasst und können dem Betrieb, in dem sie zeitweise arbeiten, hier der Schachanlage Asse II, nicht zugeordnet werden. Somit ergibt sich bei den Mitarbeitern von Fremdfirmen eine Untererfassung im GM. Auch für die Mitarbeiter von Fremdfirmen, die vom betrieblichen Strahlenschutz der Schachanlage Asse II überwacht wurden, liegen im Allgemeinen keine vollständigen Personal- und Beschäftigungsdaten vor.

Die Untererfassung von Mitarbeiter von Fremdfirmen auf der Schachanlage Asse II hat zwar Einfluss auf die Gesamtdarstellung der summarischen Strahlenexpositionen aller Personen der Beschäftigtengruppe GM Asse, aber keinen Einfluss auf das Quantifizierungskonzept des GM Asse, d.h. hierdurch ergeben sich keine systematischen Fehler. Das heißt aber auch, dass es jederzeit möglich ist, für Mitarbeiter von Fremdfirmen auf der Schachanlage Asse II, wenn sich diese beim BfS melden und entsprechende belastbare Daten zu ihrer Tätigkeiten auf der Schachanlage vorlegen, eine individuelle Quantifizierung der Strahlenexpositionen aus den Tätigkeiten auf der Schachanlage Asse II durchzuführen.

Der Beschäftigtengruppe GM Asse wurden alle Personen des Eigenpersonals der Schachanlage Asse II zugeordnet, von denen nicht sicher ausgeschlossen werden konnte, dass sie Umgang mit den radioaktiven Abfällen hatten oder unter Tage tätig waren. Durch diese Definition der Einschlusskriterien kommt es, dass selbst in der Einlagerungsphase, in der nach Auskunft des Strahlenschutzes der Schachanlage Asse II unter Tage eine Tragepflicht für persönliche Dosimeter bestand, für einen Anteil von etwa 25 Prozent der Beschäftigten keine Daten aus der Personendosimetrie vorhanden sind. Die Projektgruppe GM Asse wertet dies als eine konservative Übererfassung der Personen in der Beschäftigtengruppe GM Asse, da es sich dabei mutmaßlich um Personen handelt, die weder unter Tage tätig waren noch über Tage Kontakt zu den Abfällen hatten.

Seit dem Beginn der Einlagerungen radioaktiver Abfälle in die Schachanlage Asse II 1967 sind die jeweils zu erfüllenden rechtlichen Anforderungen an die Strahlenschutzüberwachung der Beschäftigten anspruchsvoller geworden. Es kann nicht von einer vollständigen Erfassung aller strahlenschutzrelevanten Daten über den gesamten Zeitraum ausgegangen werden, insbesondere im Hinblick auf eine vollständige Dokumentation aller strahlenschutzrelevanten Arbeitssituationen.

Für den Bereich der amtlichen und betrieblichen Personendosimetrie liegen der Projektgruppe GM Asse die amtlichen Dosisdaten seit 1970 und die betrieblichen Daten seit 1967 vor. Da eine Meldepflicht bei der amtlichen Messtelle bestand, geht die Projektgruppe von einer vollständigen Erfassung der beruflich strahlenexponierten Personen des Eigenpersonals der Schachanlage Asse II, für die Dosimeterpflicht bestand, ab dem Jahr 1970 aus. Für den Zeitraum davor (1967 bis 1969) liegen nur noch die Daten der betrieblichen Strahlenschutzüberwachung vor. Daher ist deren Vollständigkeit nachträglich nicht mehr überprüfbar. Für die Jahre 1970 und später ergab ein Abgleich zwischen den

Daten der amtlichen und der betrieblichen Personendosimetrie, eine fast vollständige Übereinstimmung. Bei den wenigen Differenzen handelt es sich vermutlich um Übertragungsfehler. Die Projektgruppe GM Asse geht daher davon aus, dass diese Vollständigkeit auch für die Jahre 1967 bis 1969 angenommen werden kann.

Für den Zeitraum 1967 bis 1980 wird für sämtliche Personen für Monate, in denen entweder keine Dosimeterwerte vorliegen oder diese unter der Nachweisgrenze liegen, eine Exposition in Höhe der Nachweisgrenze angenommen. Somit wäre eine Untererfassung der externen Dosis in diesem Zeitraum nur möglich, wenn bei einer Person, die kein Dosimeter getragen hat, eine Exposition über der Nachweisgrenze erfolgt wäre. Aufgrund der bisher vorliegenden Berichte von Beschäftigten aus dieser Zeitperiode, erscheint dies jedoch sehr unwahrscheinlich.

Für den Zeitraum ab 1979 nach Beendigung der Einlagerung wurde die Tragepflicht vom damaligen Betreiber HMGU aufgehoben, da nach seiner Einschätzung keine Situation in der Grube vorlag, die erhöhte Strahlenexpositionen erwarten ließ. Dosimeterpflicht bestand nur noch in Kontrollbereichen und für bestimmtes Personal (Strahlenschutz, Öffentlichkeitsarbeit und Aufsichtspersonen). Aus den Schilderungen befragter Beschäftigter durch die Projektgruppe GM Asse ergab sich, dass nicht mehr eindeutig erinnert werden konnte, wie ab 1979 die Tragepflicht bzw. das Tragen von persönlichen Filmdosimetern im Einzelfall gehandhabt wurde. Beim fachkundigen Personal (Strahlenschutz, Öffentlichkeitsarbeit und Aufsichtspersonen) kann nach Auffassung der Projektgruppe GM Asse davon ausgegangen werden, dass das Tragen der Filmdosimeter arbeitstäglich praktiziert wurde. Für andere Beschäftigte ist dies nicht mehr rekonstruierbar. Für die Beschäftigten, die ihre Dosimeter nicht getragen haben, sind Werte der amtlichen Personendosimetrie (in diesem Fall Nullwerte), daher nicht für die Dosisabschätzung verwendbar.

Das Quantifizierungskonzept des GM Asse sieht daher für den Zeitraum 1979 und 1980 (Ende der Einlagerung bis Ende der Umlagerung) vor, gleich zu verfahren wie für die Phase der Einlagerung, das heißt, jeder Person der Personengruppe GM Asse wird mindestens die anzuwendende Nachweisgrenze des Filmdosimeters als ersatzweise abgeschätzte Dosis zugeordnet. Für den Fall eines positiven Messwertes, erhält der Beschäftigte diesen Messwert als Dosis. Für die Zeit nach 1980 wird aus geschätzten Aufenthaltszeiten in der Grube insgesamt und in bestimmten Bereichen der Grube über gemittelte Ergebnisse der für die Grube insgesamt bzw. für diese bestimmten Bereiche zuordenbare Ortsdosisleistungsmessungen eine persönlich Dosis aus externer Exposition abgeschätzt. Das heißt, alle Personen der Beschäftigtengruppe GM Asse erhalten mindestens die aus ODL-Messungen abgeleitete Dosis zugeordnet. Dabei wurde die gesamte Dosis erfasst und kein natürlicher Untergrund, insbesondere durch Kalium-40 abgezogen. Für den Fall, dass positive Messergebnisse aus der Personendosimetrie vorliegen wird dieser Dosiswert zu dem aus der ODL-Abschätzung ermittelten Dosiswert addiert. Durch dieses Verfahren wird dem nachträglich nicht mehr für jeden Einzelfall rekonstruierbare Sachverhalt des Dosimetertragens Rechnung getragen.

Nach Bewertung der Projektgruppe GM Asse werden somit konservativ alle Strahlenexpositionen aus externen Strahlenquellen erfasst, bei denen Beschäftigte nicht direkt mit Strahlenquellen bzw. in unmittelbarer Nähe zu den radioaktiven Abfällen tätig waren. Diese unmittelbare Nähe zu Abfällen war nur in unverschlossenen Einlagerungskammern möglich, die jedoch nach Auskunft des damaligen Strahlenschutzes der Schachanlage Asse II als Kontrollbereiche abgesperrt und gekennzeichnet waren. Die

Absperrung von Kontrollbereichen mit Ketten, später Gittertoren und die Kennzeichnung wurden in den Befragungen allgemein bestätigt. Eine Missachtung dieser Strahlenschutzmassnahmen im Einzelfall durch Beschäftigte oder Mängel in Betriebsabläufen kann nicht komplett ausgeschlossen werden, eine Berücksichtigung ist im Rahmen des Quantifizierungskonzepts GM Asse nicht möglich. Die Projektgruppe GM Asse hat hierfür in den Unterlagen und aus den Befragungen keine belastbaren Information erhalten.

Neben der Strahlenbelastung aus externen Quellen ist eine mögliche Strahlenbelastung aus inkorporierten Radionukliden zu berücksichtigen. Dosisrelevant sind hier zunächst Beiträge durch Radon und seine Folgeprodukte, durch langlebige Radionuklide im Luftstaub und durch Tritium. Die Projektgruppe GM Asse geht davon aus, dass der Beitrag kurzlebiger Alpha- und Beta-Strahler durch die Abschätzung des Dosisbeitrags von Radon und seinen Folgeprodukten mit abgedeckt ist. Dies begründet sich aus der Tatsache, dass Expositionen aus radioaktiven Abfällen zu bewerten sind, deren Anteil an kurzlebigen Radionukliden wenn überhaupt als sehr klein anzunehmen sind und die keinen oder nur einen sehr kleinen Anteil an spontan spaltenden Radionukliden, die zur Neugeneration kurzlebiger Radionuklide führen könnten, enthalten.

Radon und seine Folgeprodukte leisten einen wesentlichen Beitrag zur Strahlenexposition der Beschäftigten in der Schachanlage Asse. Aufgrund der niedrigen Konzentrationen von Uran und Thorium in den Salzgesteinen der Asse, ist der Radongehalt in der Schachanlage Asse II den radioaktiven Abfällen zuzuordnen und damit nicht als Exposition aus natürlichen Quellen zu bewerten. Erst in späteren Jahren liegen direkt gemessene Radonwerte in der Grubenluft vor. In den davorliegenden Jahren wurde die Gesamtaktivität kurzlebiger Alpha- und Beta-Strahler in der Staubfraktion der Grubenwetter bestimmt. Diese sind nahezu ausschließlich auf die Radonfolgeprodukte zurückzuführen. Somit kann für den Zeitraum, für den diese Daten vorliegen, durch Rückrechnung eine Abschätzung der Radonkonzentration in der Grubenluft erfolgen. Für die ersten Jahre liegen keine Messungen vor. Das Quantifizierungskonzept des GM Asse sieht hierfür eine Extrapolation der Maximalwerte der ersten 5 Jahre mit Messwerten für davor liegende Jahre ohne Messwerte vor. Die Projektgruppe GM Asse bewertet dieses Verfahren als konservativ, da zum einen die Abfallmenge in den ersten Jahren nur langsam anstieg und von Jahren mit höheren Abfallmengen auf Jahre mit geringeren Abfallmengen extrapoliert wurde. Zum anderen kommt es über die Extrapolation auf Basis der Maximalwerte eher zu einer Überschätzung der Radonkonzentrationen. Nichtsdestotrotz ist jede Extrapolation mit Unsicherheiten behaftet. Die Projektgruppe GM Asse geht aber hier eher von einer Überschätzung aus, was dem Quantifizierungskonzept GM Asse nicht schädlich ist.

Bei der Abschätzung der Dosisbeiträge durch Radon und seine Folgeprodukte mussten zur Quantifizierung Annahmen zum Aufenthalt der Beschäftigten im Grubengebäude getroffen werden. Die Projektgruppe GM Asse geht konservativ von 2000 Stunden im Jahr unter Tage aus. Konservativ nimmt die Projektgruppe GM Asse weiter an, dass Beschäftigte jeweils eine Stunde im Monat in Bereichen der Grube tätig waren, deren Zugang begrenzt bzw. kaum möglich war und an denen keine arbeitstäglichen Tätigkeiten zu verrichten waren, an denen aber höhere Expositionen möglich waren. Auf dieser Basis wurde für jedes Kalenderjahr ein Dosisbeitrag durch Radon und seine Folgeprodukte abgeschätzt und jedem Beschäftigten, der in diesem Jahr in der Schachanlage Asse II tätig war, zugeordnet. Die Projektgruppe GM Asse bewertet dieses Vorgehen als konservativ. Für die Aufenthaltszeit unter Tage wird mit 2000 Stunden im Jahr eine überhöhte Stundenzahl angenommen, die Aufenthaltszeiten

in nicht oder kaum begehbaren Bereichen mit höheren möglichen Expositionen werden ebenfalls überhöht angenommen. Diese Werte wurden aufgrund von Befragungen durch die Projektgruppe GM Asse geschätzt, für das Personal der Schachanlage Asse II, das in diesen besonderen Bereichen Mess- und Kontrolltätigkeiten durchführen musste. Dieser Personenkreis ist klein, der überwiegende Teil der Beschäftigten der Schachanlage Asse II hatte in diesen Bereichen keine Tätigkeiten durchzuführen.

Für langlebige Radionuklide im Luftstaub wurde ein dem Radon vergleichbares Quantifizierungskonzept angewendet. Dies gilt auch für Tritium. Das in der Schachanlage Asse II anzutreffende Tritium liegt in der Form tritiierten Wassers vor. Es entstammt den radioaktiven Abfällen. Einen Dosisbeitrag liefert Tritium in der Grubenluft, die Höhe ist aber im Vergleich zum Dosisbeitrag durch Radon und seine Folgeprodukten bzw. zu den langlebigen Radionukliden im Staub der Grubenluft als klein zu werten. Die Projektgruppe GM Asse bewertet die Unsicherheiten bei der Abschätzung der Dosisbeiträge durch langlebige Radionuklide im Staub der Grubenluft und durch Tritium in der Grubenluft analog zu den Unsicherheiten bei der Abschätzung der Dosisbeiträge durch Radon und seinen Folgeprodukten.

Weiterhin war zu prüfen, welche Dosisbeiträge durch Kontaminationsereignisse oder den Umgang mit kontaminierten Salzlösungen entstanden sein könnten. Von den über 200 Kontaminationsereignissen, von denen der frühere Betreiber HMGU berichtet, sind nach den Ausschlusskriterien der Projektgruppe GM Asse (kein Dosisbeitrag größer 20 Mikrosievert und keine Beteiligung von Alpha-Strahlern) vier Ereignisse dosisrelevant. Die Quantifizierung ist im Einzelnen in Kapitel 5.7 beschrieben. Da nur wenige Beschäftigte unmittelbar von den Kontaminationsereignissen betroffen und mit Dekontaminationsarbeiten betraut waren oder möglicherweise im Zusammenhang mit dem Kontaminationsereignis im Dezember 1973 stehende positive Inkorporationsnachweise hatten, werden diese Ereignisse nicht in der Gesamtquantifizierung für die Beschäftigtengruppe GM Asse berücksichtigt. In der Quantifizierung der Strahlenexpositionen für diejenigen Beschäftigten, die von den Kontaminationsereignissen direkt oder indirekt betroffen waren, werden Dosisbeiträge aus den Kontaminationsereignissen im Zuge der Quantifizierung für Einzelpersonen jedoch hinzuaddiert.

Auch die Dosisbeiträge durch den Umgang mit kontaminierter Lauge werden getrennt betrachtet. Hier traten überwiegend Kontaminationen mit Tritium und Cäsium-137 auf. Für den Umgang mit diesen Laugen wurden verschiedene Expositionspfade betrachtet. Diese sind externe Strahlung aus den Behältern oder von Ablagerungen auf der Haut und der Kleidung sowie Inkorporationen über Inhalation, Aufnahme über die Haut oder mögliche Ingestion kleiner Mengen. Bei den mit Tritium kontaminierten Laugen ist grundsätzlich die Inhalation und Penetration durch die Haut sowie die Inkorporation allenfalls kleinster Mengen durch Verschlucken (bei Hand-Mund-Kontakt) denkbar. Der Pfad Ingestion größerer Mengen von tritiiertem Lauge kann aus physiologischen Gründen ausgeschlossen werden. Bei den Laugen in der Asse handelt es sich um gesättigte Salzlösungen. Ein Verschlucken größerer Mengen hat unmittelbares Erbrechen zur Folge. Externe Exposition ist bei Tritium wegen der niedrigen Energie der emittierten Beta-Teilchen und der dadurch bedingten geringen Reichweite, d.h. die Beta-Teilchen können die äußere Hornschicht der Haut nicht durchdringen, nicht bewertungsrelevant.

Bei mit Cäsium-137 kontaminierter Lauge sind die Expositionspfade externe Exposition und Ingestion allenfalls mit geringen Beiträgen zu beachten. Die Pfade Inhalation und Penetration

sind nicht bewertungsrelevant, da Cäsium-137 praktisch nicht aus den Laugen in die Grubenluft gelangt und nicht über die Haut in den menschlichen Körper aufgenommen wird. Mit den betrachteten Szenarien für Laugen, die mit Tritium und/oder Cäsium-137 kontaminiert sind und der Annahme eines 40-stündigen unmittelbaren Umgangs damit, ergibt sich von wenigen Ausnahmen abgesehen Jahresdosiswerte von weniger als 20 Mikrosievert. Die Ausnahmen betrafen die Jahre 2006-2008 in denen Dosisbeiträge bis maximal 41 Mikrosievert aufgetreten sein könnten. Diese Maxima ergeben sich durch die höheren spezifischen Aktivitäten in einzelnen Laugen in dieser Zeitperiode. Die Projektgruppe GM Asse bewertet Dosisbeiträge durch diesem Pfad insgesamt als klein gegenüber anderen Dosisbeiträgen im Quantifizierungskonzept GM Asse. Dieser Beitrag wird daher nicht separat im Quantifizierungskonzept für die Gesamtheit aller Beschäftigter berücksichtigt. In der Quantifizierung der Strahlenexpositionen für diejenigen Beschäftigten, die direkt Tätigkeiten mit kontaminierten Laugen durchgeführt haben, werden Dosisbeiträge aus dem Umgang mit kontaminierten Laugen im Zuge der Quantifizierung für Einzelpersonen jedoch hinzuaddiert, wenn diese den Wert von 20 Mikrosievert übersteigt.

Zusammenfassend liegt mit dem GM Asse eine umfassende retrospektive Erfassung der durch die Beschäftigung auf der Schachanlage Asse II erhaltenen Strahlenexpositionen vor. Es berücksichtigt alle Expositionspfade, die zu dosisrelevanten Expositionen in der Beschäftigtengruppe GM Asse insgesamt geführt haben könnten. Dosisbeiträge durch besondere Ereignisse oder besondere Tätigkeiten werden diskutiert und können bei der Quantifizierung für Einzelpersonen berücksichtigt werden. Das GM Asse ist so angelegt, dass alle Beschäftigten im 2. Schritt des Gesundheitsmonitorings Asse von der heutigen Betriebsführerin des Endlagers Asse (Asse GmbH) angeschrieben und über die Ergebnisse des 1. Schrittes, der Expositionsabschätzung informiert werden. Gleichzeitig wird jedem Beschäftigten das Angebot gemacht, dass sie oder er seine Dosisgeschichte beim BfS anfordern kann. Mit den Anfragenden nimmt das BfS dann direkten Kontakt auf, um noch einmal die persönliche Arbeitshistorie auf der Schachanlage Asse II abzuklären. Anschließend schätzt das BfS die individuelle Dosis des Beschäftigten ab. Diese wird durch eine Bewertung des individuellen gesundheitlichen Risikos, das mit einer Exposition in der erhaltenen Höhe auf der Basis des strahlenepidemiologischen und strahlenbiologischen Wissens verknüpft ist, ergänzt und erklärt.

Aus den epidemiologischen Studien an strahlenexponierten Bevölkerungs- und Beschäftigtengruppen ist bekannt, dass mittlere und hohe Strahlenexpositionen mit einem erhöhten Krebsrisiko einhergehen. Die beste Anpassung einer Funktion an diese Daten zur Beschreibung einer Dosis-Wirkungsbeziehung ist eine lineare. Aus grundsätzlichen strahlenphysikalischen, mikrodosimetrischen und strahlenbiologischen Überlegungen ist es fachlich sinnvoll, für die Extrapolation der Dosis-Wirkungsbeziehung für den niedrigen Dosisbereich von einer Fortschreibung dieser linearen Beziehung bis zum Nullpunkt auszugehen, d.h. ohne Schwellendosis. Diese Grundannahme prägt die Vorgehensweise im etablierten Strahlenschutz. Aus erkenntnistheoretischen und methodischen Gründen wird sich diese Funktion nicht bis zum Nullpunkt mit empirischen Daten aus Versuchen oder Beobachtungsstudien an strahlenexponierten Personen verifizieren lassen. Es bleibt im unteren Dosisbereich somit eine Abschätzunsicherheit. Aus den heute bekannten Daten zum Strahlenrisiko lässt sich für Erwachsene ab einer Dosis von etwa 100 Millisievert ein statistisch nachweisbar erhöhtes Risiko erkennen, an Krebs zu erkranken. Das zusätzliche Risiko nach Strahlenbelastung an Krebs zu erkranken beträgt etwa 1 Prozent pro 100 Millisievert. Bei einem Risiko von etwa 40 bis 50 Prozent im Laufe des Lebens an Krebs zu erkranken, ist ein Risikoanstieg um etwa 1 Prozent in aller Regel nicht nachweisbar.

Die im GM Asse abgeschätzten Dosisbeiträge liegen für 99 Prozent der Personen der Beschäftigtengruppe GM Asse im Dosisbereich unterhalb der oben genannten Erkennungsgrenze von etwa 100mSv. Um die abgeschätzten Strahlenexpositionen in ihrer Höhe einordnen zu können ist ein Vergleich mit der Strahlenexposition aus natürlichen Quellen hilfreich. Die Strahlenbelastung aus natürlichen Quellen liegt in Deutschland im Mittel zwischen 2 und 3 Millisievert im Jahr und bezogen auf einen Zeitraum von etwa 40 Jahren bei etwa 100 Millisievert. Somit liegen die höchsten hier ermittelten Dosen in der Größenordnung der natürlichen Strahlenexpositionen über den gleichen Betrachtungszeitraum, die mittleren Dosen um den Faktor 10 niedriger. Für die Beschäftigten insgesamt ist die vorhandene Datenbasis aussagefähig und wissenschaftlich belastbar. Es ist jedoch, wie dargestellt, nicht auszuschließen, dass es in Einzelfällen zu nicht dokumentierten, höheren Strahlenbelastungen gekommen ist. Dies kann nur im Zuge von Einzelfallbegutachtungen weiter aufgeklärt werden.

Jeder ehemalige und derzeitige Beschäftigte sowie Angehörige, für den Fall dass der ehemalige Beschäftigte inzwischen verstorben ist, erhält auf Anfrage vom BfS eine individuelle Dosisabschätzung mitgeteilt. Die Dosisabschätzung wird vom BfS hinsichtlich eines möglichen gesundheitlichen Risikos bewertet und erklärt. Ehemaligen oder derzeitigen Beschäftigten der Schachanlage Asse II, die an Krebs erkrankten und diese Erkrankung auf seine Beschäftigung auf der Schachanlage Asse II zurückführen, empfiehlt das BfS bei der zuständigen Berufsgenossenschaft oder Unfallkasse einen Antrag auf Anerkennung einer Berufserkrankung zu stellen. Dieser Antrag kann im Falle des Versterbens auch von Angehörigen gestellt werden. Das BfS wird diesen Antrag durch das zur Verfügung Stellen der ausführlichen individuellen Dosisgeschichte unterstützen und weiterhin seine Expertise in der Bewertung von Strahlenrisiken anbieten.

Literaturverzeichnis

- /ASS 10a/ Erhebung radiologischer Daten für das Gesundheitsmonitoring Asse, Asse GmbH, 2010
- /ASS 10b/ Die Datenbank Assekat 9.2: Radionuklidinventardaten der Schachanlage Asse II, Assekat 9.2, Februar 2010
- /BfS 07/ BfS-SCHR 43/07, 2007 Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis Teil 2: Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition; Inkorporationsüberwachung Rundschreiben vom 12.1.2007 RS II 3 -15530/1, BMBI 2007 S. 623
- /BRE 09a/ BRENK SYSTEMPLANUNG GMBH. Messtechnische Untersuchung und radiologische Bewertung der Aktivitätskonzentration flüchtiger Radionuklide in Grubenwettern der Schachanlage Asse (Bericht zum BS-Projekt 0811-01) Aachen, 24.09.2009 (Revision 1)
- /BRE 09b/ BRENK SYSTEMPLANUNG GMBH Freigabewerte für die Nutzung von Zutrittslösungen innerhalb der Schachanlage Asse. Aachen, 24.09.2009 (Revision 1)
- /GSF 74/ Schreiben von GSF, Betriebsabteilung für Tieflagerung, Remlingen an Bergamt Goslar, 15.1.1974
- /GSF 80/ GSF-Bericht: Bericht über eine Kontamination in Kammer 7/750-m-Sohle, 15.09.1980
- /HEN 85/ Henrichs K, Eiberweiser C, Paretzke HG. Dosisfaktoren für die Kontamination der Haut und der Kleidung. GSF-Bericht 7/85 (1985).
- /ICRP 59/ ICRP, International Commission on Radiological Protection. Permissible dose for internal radiation, ICRP Publication 2, 1959
- /ICRP 68/ ICRP, International Commission on Radiological Protection, Evaluation of Radiation Doses to Body Tissues from Internal Contamination due to Occupational Exposure, ICRP Publication 10, 1968
- /ICRP 79/ International Commission on Radiological Protection. Limits for intakes of radionuclides by workers, Part 1. ICRP Publication 30. Ann. ICRP 2(3/4) (Oxford: Pergamon Press) (1979).
- /ICRP 93/ ICRU, International Commission on Radiation Units and Measurements, Quantities and Units, 1993
- /ICRP 94a/ International Commission on Radiological Protection. Human respiratory tract model for radiological protection. ICRP Publication 66. Ann. ICRP 24(1–3). (Oxford: Elsevier Science Ltd.) (1994).
- /ICRP 94b/ International Commission on Radiological Protection. Dose coefficients for intakes of radionuclides by workers. ICRP Publication 68. Ann. ICRP 24(4) (Oxford: Elsevier Science Ltd.) (1994).

- /IST 09/ Institut für Sicherheitstechnologie (ISTec) GmbH Radiologische Sachstands-
erhebung für die Schachanlage Asse II ISTec-A-1423 (Rev. 0) Köln,
21.4.2009
- /RKI 10/ Robert Koch Institut. Krebs in Deutschland 2005/2006 Häufigkeiten und
Trends. 7. Ausgabe, 2010
- /STR 01/ Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strah-
lenschutzverordnung – StrlSchV), vom 20.7.2001. BGBl. I: 1714 Ber. I

Anhang 1: Datenschutzkonzept

Zur Durchführung des Gesundheitsmonitoring Asse (GM Asse) war eine Definition des Studienkollektivs und damit die Identifikation aller auf der Schachanlage Asse beschäftigten Personen sowie eine personenbezogene Zuordnung von Expositions- und Beschäftigtendaten notwendig. Um dem Umgang mit personenbezogenen Daten in geeigneter Weise Rechnung zu tragen, hat die Projektgruppe GM Asse des BfS ein detailliertes Datenschutzkonzept erarbeitet und dieses vor Projektbeginn nicht nur der Datenschutzbeauftragten des BfS vorgelegt, sondern auch mit dem Bundesbeauftragten für den Datenschutz und die Informationsfreiheit (BfDI) abgestimmt. Mit Schreiben vom 21.07.2009 übermittelte die Datenschutzbeauftragte des BfS das mit ihr abgestimmte Datenschutzkonzept an den BfDI. Dieser teilte am 27.10.2009 abschließend mit, dass aus seiner Sicht keine Bedenken gegen das geplante Monitoring bestehen.

Das Datenschutzkonzept legt im Einzelnen die Erhebung und Verarbeitung personenbezogener Daten von Asse-Beschäftigten fest, beschreibt die Zugriffsberechtigungen auf diese Daten und trifft Aussagen darüber, wie mit den Daten nach Beendigung des GM zu verfahren ist. Im Einzelnen ist im Datenschutzkonzept näher dargelegt:

- Das BfS ist seit Januar 2009 Betreiber der Schachanlage Asse II und von daher u.a. für den betrieblichen Strahlenschutz verantwortlich. Das GM Asse ist Teil des betrieblichen Strahlenschutzes und damit originäre Aufgabe des BfS. Die Einholung von Einwilligungen der Asse-Beschäftigten zur Datenerhebung und -verarbeitung ist daher nicht notwendig.
- Das Projekt GM Asse wird innerhalb des BfS von der Projektgruppe Gesundheitsmonitoring Asse durchgeführt. Die Projektleitung liegt bei der Arbeitsgruppe Epidemiologie (AG-SG 1.3). Die Aufgabe dieser Arbeitsgruppe besteht darin, alle erforderlichen Daten zusammenzuführen, die Expositionen zu quantifizieren und das damit verbundene gesundheitliche Risiko zu bewerten.
- Die Arbeitsgruppe „Epidemiologie“ arbeitet ausschließlich mit pseudonymisierten Daten, d.h. ohne Personenbezug. Die für die Auswertung erforderlichen Datensätze werden der Arbeitsgruppe jeweils mittels einer Identifikationsnummer (ID-Nummer) übermittelt.
- Die ID-Nummern vergibt eine sog. Treuhänderstelle, im vorliegenden Falle die Datenschutzbeauftragte des BfS. Hierfür erhält sie von der Personalabteilung der Asse GmbH eine entsprechende Liste mit Namen der Asse-Beschäftigten sowie anderen Angaben im Zusammenhang mit deren Beschäftigung. Die um die ID-Nummern ergänzte Liste schickt die Treuhänderstelle an die Personalabteilung zurück. Die Übermittlung dieser Daten erfolgt ausschließlich in verschlüsselter Form. Die Arbeitsgruppe „Epidemiologie“ erhält schließlich lediglich eine mittels ID-Nummern pseudonymisierte Version dieser Liste.
- Für die Auswertung erforderlich sind weiterhin Daten zur dosimetrischen Überwachung, zur Inkorporationsüberwachung und zu Kontaminationsereignissen, über die der betriebliche Strahlenschutz der Asse GmbH verfügt. Zudem hält die Arbeitsgruppe Strahlenschutzregister des BfS personenbezogene Daten aller strahlenschutzüberwachten Personen Deutschlands seit Registerführung ab ca. 1997 vor. Um diese Daten für eine Auswertung im Rahmen des GM zusammenzubringen, übermittelt der betriebliche Strahlen-

- Im Ergebnis wird durch das beschriebene Verfahren sichergestellt, dass die Arbeitsgruppe „Epidemiologie“ des BfS alle für die Auswertung erforderlichen Daten erhält und zugleich datenschutzrechtlichen Belangen genüge getan wird. Sofern im Einzelfall Rückfragen der Arbeitsgruppe zu den übermittelten Daten erforderlich werden, ist sichergestellt, dass zwischen den verschiedenen Stellen ausschließlich über die ID-Nummern kommuniziert wird. Zu diesem Zwecke werden die ID-Nummern bis zum Abschluss des GM bei den jeweiligen Stellen (Personalabteilung, Strahlenschutzregister BfS) aufbewahrt, nach Beendigung des Projekts jedoch umgehend gelöscht. Eine Identifizierung der sich hinter den ID-Nummern verbergenden Personen ist dann nur noch durch die Treuhänderstelle möglich, die die entsprechenden Daten in einem Stahlschrank aufbewahrt.
- Nach Beendigung des GM Asse erhalten Betroffene oder von ihnen ermächtigte Stellen auf Nachfrage Auskunft zu ihrer persönlichen Exposition und Risikobewertung. Anfragen zu personenbezogenen berufsbedingten Strahlenbelastungen im Zusammenhang mit dem Endlager Asse werden von der Arbeitsgruppe Epidemiologie des BfS beantwortet. Diese setzt die Treuhänderstelle hierüber in Kenntnis. Die Treuhänderstelle ermittelt die Identifikationsnummer des Betroffenen und leitet die Anfrage pseudonymisiert an die Arbeitsgruppe Epidemiologie weiter. Diese validiert die Strahlenexposition, schätzt das damit verknüpfte Strahlenrisiko ab, erstellt eine gutachtliche Stellungnahme und übergibt diese der Treuhänderstelle. Diese stellt den Personenbezug wieder her und übermittelt das Gutachten an die beantwortende Stelle im BfS. Treuhänderstelle und Projektgruppe GM Asse bzw. Arbeitsgruppe Epidemiologie werden über die Beantwortung der Anfrage nach Abgang informiert.
- Eine Speicherung der Daten des GM ist solange in der beschriebenen Form erforderlich, um Anfragen zur Anerkennung einer Berufskrankheit von Mitarbeitern der Asse-GmbH entsprechend beantworten zu können. Dies kann auch nach dem Tod eines Mitarbeiters der Fall sein, da Angehörige der ersten Generation berechtigt sind, ein Anerkennungsverfahren zu beantragen.
- Die Daten des GM werden auf Nachfrage lediglich an Betroffene oder von ihnen ermächtigte Stellen, nicht jedoch an Dritte weitergegeben.
- Die reinen Expositionsdaten (Daten ohne Personenbezug) werden von der Projektgruppe GM Asse zusammengefasst beschreibend ausgewertet und am Ende des Projekts in Form eines Abschlussberichts veröffentlicht.
- Der Betriebsrat der Asse GmbH wurde beteiligt. Er hat der Durchführung des GM Asse zugestimmt.

Das GM Asse sah zusätzlich die Befragung von mehreren ehemaligen Beschäftigten vor. Das BfS definierte hierzu eine Liste auszuwählender Personenkreise (z.B. Beschäftigte mit vorliegender Berufskrankheitsanzeige, langjährige Schichtpartner dieser BK-Fälle, frühere Strahlenschutzbeauftragte, Personen, die in den frühen Jahren mit Dekontaminationsarbeiten zu tun hatten, etc.). Die Asse GmbH wählte auf Basis dieser Liste in Frage kommende Personen aus, kontaktierte sie und bat im Falle einer Teilnahme an der Befragung am GM um deren schriftliche Einwilligung. Die unterschriebenen Einwilligungserklärungen wurden von der Asse-GmbH an das BfS weitergeleitet. Danach vereinbarte das BfS einen Termin mit den jeweiligen Probanden.

Bei drei Beschäftigten, die erhöhte Cäsium-Werte in früheren Inkorporationsmessungen gezeigt hatten, wurde im Anschreiben der Asse GmbH zusätzlich zur Befragung auch darum gebeten, eine 24-Stunden Urinprobe abzugeben. Zwei der Beschäftigten gaben ihr schriftliches Einverständnis und nahmen an der Untersuchung teil.

Anhang 2 : Inkorporationsüberwachung

Spezielle Eigenschaften der Ganzkörpermessanlage in der Schachtanlage Asse II

Die Ganzkörpermessanlage der Schachtanlage Asse II ist seit 1981 auf der 490-m Sohle weitgehend unverändert in Betrieb. Der Detektor, ein NaI(Tl) – Szintillationskristall, wurde bisher nicht ausgetauscht. Daher lassen sich aus Messungen in letzter Zeit Rückschlüsse auf seine Eigenschaften in früheren Jahren ziehen, wenn man z. B. die Konstanz von Kalibrierfaktoren und Messbedingungen betrachtet.

Bestand an wieder auswertbaren Ganzkörpermessergebnissen

Seit April 1985 werden die Ergebnisse von Ganzkörpermessungen und zugehörigen Kalibrier- und Untergrundmessungen in wieder auswertbarer Form gespeichert.

Von den von 1972 bis 1984 durchgeführten Inkorporationsmessungen Jahresmitteilungen und ab Dezember 1981 betriebseigene Protokollbucheinträge. Von den genannten Ausnahmen abgesehen lauteten die Resultate „ohne Befund“, d. h. die gezählten Impulse unterschritten eine aus der Nachweisgrenze des Verfahrens abgeleitete Anzahl. Diese Messungen können nicht mehr überprüft werden. Für ihre Bewertung können nur die damals angegebenen Nachweisgrenzen (s. Tabelle A 2.1) herangezogen werden.

Tab. A 2.1: Nachweisgrenzen (NWG) des Ganzkörperzählers der Asse

Jahr	Nuklid	NWG (nCi)	NWG (Bq)	Bemerkung
1972	Cs-137	25	925	
	Co-60	10	370	
	I-131	30	1110	
	Bi-214 (RaC)	50	1850	Tochternuklid der Radium / Radon Reihe
1974	Cs-137	4	148	
	Cs-134	8	296	
1976	1 MeV, 100%	8	296	Referenzstrahlung
1977	1 MeV, 100 %	5	185	Referenzstrahlung
1978	1 MeV, 100 %	7	259	Referenzstrahlung
1979	1 MeV, 100 %	7	259	Referenzstrahlung
1980	Cs-137	10	370	10 min Messzeit
1981	Cs-137	6,2	229	GKZ auf 490m-Sohle
	Mn-54	4,4	163	
	Co-60	5,4	200	
1983	Cs-137	6,2	229	GKZ auf 490m-Sohle
	Mn-54	4,4	163	
	Co-60	5,4	200	
1984	Cs-137	6,2	229	GKZ auf 490m-Sohle
	Mn-54	4,4	163	
	Co-60	5,4	200	

Die Messungen mit dem Ganzkörperzähler auf der 490-m-Sohle wurden ab April 1985 in einem Protokollbuch dokumentiert. Die Gammaspektren wurden auf Magnetbändern (genauer auf Minionbandkassetten) gespeichert, die wieder ausgelesen werden konnten. Die schriftlichen Aufzeichnungen enthalten Messdatum, gemessene Person, Angaben zum Magnetbandzählerstand, K-40 Bruttoimpulse, Cs-137 Brutto- und Nettoimpulse, jedoch keine Bewertung des Messergebnisses. Aus dem Jahr 1991 liegt eine Angabe vor, nach der die

Nachweisgrenze von 165 Bq Ganzkörperaktivität für Cs-137 einer Nettoimpulszahl von 130 Impulsen je 20 Minuten Messzeit entspricht. Die „Bewertung“ erfolgte nur an Hand des Vergleichs mit dieser Nettoimpulszahl, d.h., das Messergebnis lag unter oder über der Nachweisgrenze. Überschreitungen der NWG wurden dann gesondert ausgewertet. In dieser Mess- und Aufzeichnungstechnik liegen insgesamt 1333 Dateien vor.

Im März 1998 wurde die Aufzeichnung der gemessenen Spektren auf digitale Speicherung auf Festplatten der Messplatzrechner umgestellt, die Art der Protokollführung und der Bewertung jedoch beibehalten bis zum Jahr 2006. Dieser Datenbestand umfasst 1003 Dateien bis zum Ende des Jahres 2008.

Reanalyse gespeicherter Ganzkörpermessungen

Dateien auf Audiokassetten

Die maximal 25 Jahre alten Tonbandkassetten, die in einem magnetfeldgeschütztem Stahlschrank lagerten, wurden – nach Klärung der Technik für das Auslesen der Spektren – zur Sicherheit direkt auf digitale Datenträger gespeichert, um die Magnetbänder nicht mehrmals einlesen zu müssen. Mit Hilfe elektronischer Geräte aus der Zeit der Aufnahmetechnik und spezieller Umsetzprogramme konnten diese Aufzeichnungen in ein Spektrumsformat umgesetzt werden, das mit heute üblichen Programmen zur Gammaspectrenanalyse bearbeitet werden kann; so z. B. mit dem Analysepaket INTERWINNER 4.0, mit dem die weitere Auswertung erfolgte. Bei der Umsetzung der insgesamt 25 Kassetten zeigte sich, dass nicht alle Tonbandaufzeichnungen ausgelesen werden konnten. Es ist nicht klar, ob diese Bänder bereits fehlerhaft beschrieben worden sind oder ob die Lagerungszeit zu Fehlern führte.

Dateien von der Festplattensicherung

Die Spektren, die seit 1998 digital auf Festplatten gespeichert worden sind, liegen in einem Format vor, das – mittels Importfunktionen – direkt von dem Programmpaket INTERWINNER 4.0 verarbeitet werden kann. Hinsichtlich dieser Seite wurden keine Schwierigkeiten beobachtet. Allerdings konnten die Daten des Jahres 2003 nicht mehr ausgelesen werden ..

Durchführung der Reanalysen

Die bisherigen Auswertungen der Ganzkörpermessungen bei der Schachtanlage ASE bezogen sich (bis auf das Jahr 2008, seit dem ein modernes Softwarepaket eingesetzt wird) nur auf das Radionuklid Cs-137 als Leitnuklid. Daneben wurde noch das natürliche Radionuklid K-40 betrachtet, mehr als Hinweis auf die korrekte Funktion der Messanlage. Eine Auswertung hinsichtlich der Körperaktivität erfolgte nicht.

Die Reanalyse sollte zeigen, ob

- die Neuauswertung die früheren Ergebnisse in ihrer damaligen Darstellung bestätigt,
- weitere Radionuklide im Gammaspectrum vorhanden sind,

und welche Nachweisgrenzen für andere Radionuklide abzuleiten sind sowie die Angabe von nachgewiesenen Körperaktivitäten in Becquerel.

Für eine Reanalyse mit diesen Zielen sind folgende Schritte erforderlich:

- Ermittlung der Energiekalibrierung zur Identifizierung von Gammalinien,

- Ermittlung der Energieabhängigkeit der Breite von Gammalinien (erforderlich zur Auflösung sich überlappender Gammalinien, was ein spezielles Problem bei Szintillationsdetektorspektren ist),
- Ermittlung der Effizienzkalibrierung über den gesamten Spektrumsbereich zur Quantifizierung der Körperaktivität,
- Ermittlung des Betrages von Radionukliden zum Spektrum außerhalb der zu untersuchenden Person (insbesondere durch K-40),
- Zusammenstellung von Radionukliden in einer Bibliothek, die auf Grund der Arbeitsbedingungen inkorporiert werden können und auch im Spektrum analysierbar sind.

Energiekalibrierung

Aus den Kalibriermessungen in den einzelnen Jahren lässt sich aus der Lage der Peaks für Cs-137 und für K-40 eine lineare Beziehung zwischen Gammaenergie und Kanalnummer, das ist die elektronische Aufteilung des gesamten betrachteten Energiebereichs in gleichmäßige Energieintervalle (meist zwischen 0 keV und 2000 keV), ableiten. Für Spektren von Szintillationsdetektoren ist dies hinreichend genau. In Einzelfällen musste bei Personenmessungen mittels der Lage des K-40 Peaks nachjustiert werden. Die Auswertung von Spektren aus verschiedenen Jahren zeigt, dass der im Spektrum erfasste Energiebereich zwischen 1800 keV und 3000 keV variierte. Die ursprünglich abgespeicherten Spektren enthielten bis zum Jahr 2006 keine zutreffende Energiekalibrierung, weshalb diese für die Reanalyse neu erstellt werden musste.

Halbwertsbreitenkalibrierung

Spektren von Szintillationsdetektoren weisen in der Regel breite bis sehr breite Peaks auf. Diese Breite wird charakterisiert durch die Energiedifferenz der rechten und linken Peakflanke in halber Peakhöhe (FWHM; volle Peakbreite in Höhe des halben Peakmaximums). Die numerische Bestimmung dieser Größe ist notwendig, wenn entschieden werden muss, ob sich beim Vergleich von tatsächlicher Peakbreite zu erwarteter Peakbreite eine weitere Gammalinie im Gesamtpeak verbirgt. Der zeitliche Verlauf des Wertes für diese Halbwertsbreite, in der Regel für den Peak der Gammalinie von Cs-137 bei 662 keV (bezogen auf die Energie dieser Gammalinie als relatives Auflösungsvermögen bezeichnet), gibt Auskunft über die Stabilität des Detektors hinsichtlich seines Auflösungsvermögens. Die Daten der folgenden Tabelle A 2.2 zeigen, dass der Detektor der Ganzkörpermessanlage der Schichtanlage Asse II zwischen den Jahren 1989 und 2008 sehr stabil war.

Tab A 2.2: Messanlagenparameter (1989 – 2008)

Messdatum	Art der Messung	Peaklage Cs-137	Halbwertsbreite	Auflösung
		keV	keV	in %
24.05.1989	Kalibriermessung	661,98	80,23	12,1
27.03.1990	Kalibriermessung	659,76	113,12	17,1
13.03.1998	Kalibriermessung	660,93	79,63	12,0
12.03.1999	Kalibriermessung Cs	661,69	78,04	11,8
20.03.2000	Kalibriermessung FP	661,37	77,35	11,7
06.03.2001	Kalibriermessung	661,59	83,77	12,7
14.03.2002	Kalibriermessung mit Cs	661,60	90,63	13,7
01.01.2003	Spektren nicht gespeichert			
01.01.2004	keine Kalibriermessungen			
24.05.2005	Kalibrierspektrum	661,64	80,04	12,1
20.03.2006	FP 70	661,23	81,29	12,3
08.03.2007	Kalibrierung GKZ mit Cs-137, FP 70	661,81	77,59	11,7
02.10.2008	Kalibriervergleich durch FZJ	661,78	71,81	10,9
			Anzahl	11
			Mittelwert	12,6
			Standardabweichung	1,7
			Variationskoeffizient (%)	13,3

Effizienzkalibrierung

Während bei der bisherigen Auswertung der Ganzkörpermessungen der Vergleich der Impulszahlen von Kalibriermessungen und Personenmessungen beim Peak von Cs-137 ausreichte, den Schutz strahlenexponierter Personen zu gewährleisten, ist für die Beurteilung der Aktivität anderer Radionuklide im Spektrum eine Effizienzkalibrierung über den gesamten ausgewerteten Energiebereich notwendig. In der Regel gewinnt man die Daten aus sog. Phantommessungen. Phantome sind körperähnliche Anordnungen von z. B. Flaschen, die mit Radionukliden mit bekannter Aktivität gefüllt sind.

Da aus den vorhandenen Kalibriermessungen nur Werte für das Radionuklid Cs-137 abgeleitet werden können, wurde aus Ähnlichkeitsüberlegungen über andere großvolumige Szintillationsdetektoren und mit Zugrundelegung eines prinzipiell ähnlichen funktionalen Zusammenhangs zwischen Energie und Effizienz eine für den Detektor der Ganzkörpermessanlage der SchachanlageASSE II zutreffende Effizienzfunktion erstellt. Dieses Verfahren stützt sich hauptsächlich auf Messungen der letzten Jahre; wie die folgende Tabelle A 2.3 zeigt, ist aber von 1989 bis 2008 keine deutliche Variation in den Werten für die Nachweiswahrscheinlichkeit für das Radionuklid Cs-137 zu erkennen:

Tab. A 2.3: Nachweiswahrscheinlichkeit für Cs-137 (1989 – 2008)

Messdatum	Quelle	Art der Messung	Effizienz (in %)
	Cs-137 homogen		
24.05.1989	70-kg-Phantom	Kalibriermessung	0,0816
27.03.1990	70-kg-Phantom	Kalibriermessung	0,0831
13.03.1998	81-kg-Phantom	Kalibriermessung	0,0772
12.03.1999	72-kg-Phantom	Kalibriermessung Cs	0,0770
20.03.2000	81-kg-Phantom	Kalibriermessung FP	0,0756
06.03.2001	81-kg-Phantom	Kalibriermessung	0,0766
14.03.2002	71-kg-Phantom	Kalibriermessung mit Cs	0,0751
01.01.2003		Spektren nicht gespeichert	
01.01.2004		keine Kalibriermessungen	
24.05.2005	71-kg-Phantom	Kalibrierspektrum	0,0800
20.03.2006	72-kg-Phantom	FP 70	0,0787
08.03.2007	70-kg-Phantom	Kalibrierung GKZ mit Cs-137, FP 70	0,0799
02.10.2008	70-kg-Ziegelphantom	Kalibriervergleich durch FZJ	0,0768
		Anzahl	11
		Mittelwert	0,0783
		Standardabweichung	0,0025
		Variationskoeffizient (%)	3,25

Auch diese Daten zeigen, dass sich der Detektor in seinen wesentlichen Eigenschaften in den Jahren 1989 bis 2008 nicht verändert hat.

Berücksichtigung des Betrages von Radionukliden außerhalb der Messperson

Je nach den örtlichen Gegebenheiten einer Ganzkörpermessanlage muss der Beitrag der Strahlung zum Spektrum von Radionukliden, die sich nicht in der zu messenden Person befinden, berücksichtigt werden. Klassische Radionuklide dafür sind Thorium und dessen Folgeprodukte, Radium bzw. Radon mit seinen Folgeprodukten, eventuell Cs-137 aus dem Fallout von Tschernobyl, und insbesondere K-40, das sowohl in allen Materialien als auch im menschlichen Körper vorkommt. Will man die Körperaktivität von K-40 (der Kaliumgehalt im Körper unterliegt keinen all zu großen Schwankungen) als Maß für die korrekte Funktion einer Ganzkörpermessanlage verwenden, so muss der externe Beitrag von K-40 ermittelt werden. Die Betrachtung des Zeitverlaufs dieses Beitrags, der mittels Langzeituntergrundmessungen erfasst werden kann, lässt auch Rückschlüsse auf die Konstanz der Umgebungssituation zu. Die folgende Tabelle A 2.4 enthält Werte für die Größe Nettoimpulse bezogen auf die Messdauer für das Nuklid K-40. Die Daten stammen aus Langzeitkalibriermessungen mit Kalibrierphantomen.

Tab. A 1.4: Nachweiswahrscheinlichkeit von K-40 (1989 – 2008)

Messdatum	Quelle	Art der Messung	Netto-Zählrate
	K-40 homogen		K-40
24.05.1989	70-kg-Phantom	Kalibriermessung	n.b.
27.03.1990	70-kg-Phantom	Kalibriermessung	n.b.
13.03.1998	81-kg-Phantom	Kalibriermessung	0,393
12.03.1999	72-kg-Phantom	Kalibriermessung Cs	0,409
20.03.2000	81-kg-Phantom	Kalibriermessung FP	0,376
06.03.2001	81-kg-Phantom	Kalibriermessung	0,389
14.03.2002	71-kg-Phantom	Kalibriermessung mit Cs	0,410
01.01.2003		Spektren nicht gespeichert	
01.01.2004		keine Kalibriermessungen	
24.05.2005	71-kg-Phantom	Kalibrierspektrum	0,399
20.03.2006	72-kg-Phantom	FP 70	0,397
08.03.2007	70-kg-Phantom	Kalibrierung GKZ mit Cs-137, FP 70	0,415
02.10.2008	70-kg-Ziegelphantom	Kalibriervergleich durch FZJ	0,457
		Anzahl	9
		Mittelwert	0,405
		Standardabweichung	0,023
		Variationskoeffizient (%)	5,67

n.b.: nicht bestimmbar

Wiederum zeigen diese Daten, dass sich die Verhältnisse hinsichtlich des Untergrundes sich Laufe der Zeit nicht veränderten.

Liste der zu analysierenden Radionuklide (Nuklidbibliothek)

Auf Grund des geringen Auflösungsvermögens des Detektors der Ganzkörpermessanlage der Schachanlage Asse II kann nur eine geringe Anzahl von Gammalinien zur Identifizierung und Analyse von Radionukliden verwendet werden. Neben dem Leitnuklid Cs-137 und dem natürlich vorhandenem K-40 wurden bei der Reanalyse noch Cs-134 (nur in den Jahren nach dem Unfall von Tschernobyl), Co-60, Co-57, und Pb-214 (Radonfolgeprodukt), zeitweise auch TI-208 (Thoriumfolgeprodukt) routinemäßig ausgewertet. Die folgende Tabelle A 2.5 listet diese Radionuklide auf, wobei auch die Gammaenergie angegeben ist, auf die sich die Berechnung der Nachweisgrenze stützt.

Tab. A 2.5: Radionuklide der Reanalyse der Gammaspektren des Ganzkörperzählers auf der Schachanlage Asse II

Radionuklid	Energie (keV)
K-40	1461
Co-57	123
Co-60	1332
Cs-134	797
Cs-137	662
Pb-214	352
TI-208	2614

Falls sich bei der Reanalyse eines Spektrums ein Hinweis auf ein weiteres Radionuklid ergeben sollte, so kann dieses – sofern es identifiziert werden kann - ohne weiteres der Auswerteradionuklidbibliothek zugefügt werden.

Auswahl von Messungen für die Reanalyse

Abgesehen von Kalibrier- und Untergrundmessungen wurden rund 100 Personenmessungen für die Reanalyse ausgewählt. Davon sollten 50 Messungen aus dem Datensatz stammen, der auf den Magnetbändern gespeichert worden ist und 50 aus den folgenden Jahren bis 2008 aus der Festplattenspeicherung.

Die Auswahl erfolgte nach den Gesichtspunkten:

- langjährige Teilnahme an den jährlichen Ganzkörpermessungen;
- höheres Inkorporationsrisiko auf Grund der beruflichen Tätigkeit;
- erhöhte Anzahl von Messungen aus der Anfangszeit der Spektrenspeicherung.

Übersicht über die Ergebnisse der Reanalyse

Aus der Reanalyse von Inkorporationsmessspektren und Kalibrierspektren aus dem Zeitraum 1985 bis 2008, für die stets das Softwarepaket INTERWINNER 4.1 mit einer speziellen Anpassung zur Analyse von Szintillationsdetektorspektren eingesetzt worden ist, ergibt sich folgendes Bild:

Zur Kalibrierung wurde stets dasselbe Flaschenphantom mit einer einmal zugesetzten Aktivität des Radionuklids Cs-137 verwendet, wobei die Auswahl der einzelnen Flaschen und die Gesamtmasse des Phantoms (zwischen 64 und 81 kg) variiert worden ist. Die Gesamtaktivität von Cs-137 lag zwischen 6 und 4 kBq.

Als Untergrundmessungen liegen sowohl Langzeitmessungen (bis 74 Stunden, leere Kammer) als auch viele Kurzzeitmessungen (20 Minuten) vor, die die Konstanz der Umgebungsstrahlung dokumentiert.

Für die Energiekalibrierung der Spektren stehen nur zwei Gammalinien zu Verfügung: Die singulären Linien von Cs-137 bei 662 keV und von K-40 bei 1461 keV, wo bei Langzeitphantommessungen beide verwendet werden können. Im Falle einer Nachkalibrierung von Personenmessungen kann in der Regel nur auf das Nuklid K-40 zurückgegriffen werden, da – außer in den ersten Jahren nach dem Unfall in Tschernobyl – kein Cs-137 vorliegt.

Die Effizienzkalibrierung, d. h. der Zusammenhang zwischen Phantomaktivität und Impulszahlen im Spektrum, stützte sich nur auf das Radionuklid Cs-137. Da für K-40 kein entsprechender Wert vorliegt, kann nur eine Einzellinienkalibrierung für Cs-137 durchgeführt werden.

Gemäß den vorliegenden Unterlagen über die Ergebnisse der Ganzkörpermessungen wurden – bis auf die beiden Jahre 2007 und 2008 - daher nur Impulszahlen im Bereich von Cs-137 und von K-40 erfasst und nicht als Aktivitätswerte in Bq. Aus den Kalibrier- sowie Unter-

grundmessungen wurden aber Nachweisgrenzen für Cs-137 ermittelt, so dass eine Dosisabschätzung im Prinzip möglich war.

Der eingesetzte Szintillationsdetektor hatte zwar ein großes Kristallvolumen und damit ein hohes Ansprechvermögen, aber auch eine im Vergleich mit anderen Messanlagen eher mäßiges Energieauflösungsvermögen (dies ist ein Maß für die Trennschärfe von nahe beieinander liegenden Gammalinien). Es liegt bei rund 13 Prozent bei der Energie von 662 keV; andere Messanlagen, die ebenfalls NaI(Tl)-Szintillationsdetektoren verwenden, erreichen Werte von 7 Prozent und besser.

Durch die Lage des Messortes auf der 490-m-Sohle wurde zwar der Untergrund aus der kosmischen Strahlung fast auf Null reduziert, durch den vergleichsweise hohen K-40-Gehalt der Umgebung aber wieder angehoben.

Reanalyse von Personenspektren

Die wie oben beschriebene Auswahl von erneut auszuwertenden Personenspektren verteilt sich wie folgt auf den Zeitraum von 1985 bis 2008 (Tabelle A 2.6):

Tab. A 2.6: Zusammenstellung der je Jahr ausgewählten Messspektren für die Reanalyse

Jahr	Anzahl reanalysierter Spektren	Bemerkung
1985	5	Magnetband
1986	8	Magnetband
1987	10	Magnetband
1988	8	Magnetband
1989	7	Magnetband
1990	4	Magnetband
1991	4	Magnetband
1992	3	Magnetband
1993	0	Magnetband; kein Spektrum ausgewählt
1994	0	Magnetband; kein Spektrum ausgewählt
1995	0	Magnetband; kein Spektrum ausgewählt
1996	0	Magnetband; kein Spektrum ausgewählt
1997	1	Magnetband
1998	54	Festplatte
1999	2	Festplatte
2000	1	Festplatte
2001	4	Festplatte
2002	4	Festplatte
2003	0	keine Spektren vorhanden
2004	4	Festplatte
2005	4	Festplatte
2006	4	Festplatte
2007	6	Festplatte
2008	3	Festplatte
Summe:	136	

Für die Reanalyse von Gammaskpektren von Personenmessungen wurde die Effizienzkalibrierung über den singulären Punkt von Cs-137 hinaus zu erweitert. Dazu wurde die Aktivität von K-40, das in einem gewissen Rahmen mit der Körpermasse korreliert ist, verwendet. Zum anderen kann davon ausgegangen werden, dass die Form der Effizienzkurve, aufgetragen über die Energie der Gammastrahlung, ähnlich zu der anderer Szintillationsdetektoren ist. Aus diesen beiden Annahmen wurde Funktion für die Effizienz in Abhängigkeit der Strahlenenergie hergeleitet, um zumindest in der Umgebung des Fixpunktes Cs-137 die Aktivitätsbestimmung anderer Radionuklide durchführen zu können. In Frage kommen die Nuklide Cs-134 und Co-60, eventuell noch Ba-133.

Damit konnten Messungen aus dem Jahr 1987, in dem der Cs-Gehalt des Körpers aus der Kontamination der Umwelt durch den Unfall in Tschernobyl die höchsten Werte erreichte, neu ausgewertet werden. Das Ergebnis einer Messung vom 27.05.1987 z.B. ergibt für die Körperaktivität von Cs-137 einen Wert von 1,7 kBq (Unsicherheit 20 Prozent), für das begleitende Cs-134 von 0,24 kBq, allerdings mit einer Unsicherheit von rund 50 Prozent. Dies entspricht der damaligen Bestimmung des Gesamtgehaltes von Radio-Cäsium, da damals die beiden Radionuklide auswertetechnisch nicht getrennt werden konnte.

Aus allen bisher reanalysierten Ganzkörpermessungen ergibt sich, dass außer den Inkorporationen aus den Folgen des Tschernobyl-Unfalls keine weiteren Radionuklide mit Aktivitäten oberhalb der Nachweisgrenze gefunden werden konnten.

Die Nachweisgrenzen bei einer Personenmessung von 20 Minuten Dauer liegen mit der zugrunde gelegten Effizienzfunktion bei

- 260 Bq für Cs-137
- 240 Bq für Cs-134
- 200 Bq für Co-60.

Die Übersicht über alle ausgewerteten Personenspektren mit den wichtigsten Ergebnissen enthält die folgende Tabelle A 2.7:

Tab. A 2.7: Einzelaufstellung der reanalysierten Ganzkörpermessspektren nach Messdatum

Messdatum	Messdauer	K-40		Cs-137	Un-sicherheit	Cs-134	Un-sicherheit	Co-60	Un-sicherheit
	sec	netto cts	A (K-40)	A (Cs-137)		A (Cs-134)		A (Co-60)	
24.04.1985	1198	1005,9	6,34E+03	297	NWG	267	NWG	253	NWG
25.04.1985	1198	984,7	6,08E+03	324	NWG	254	NWG	263	NWG
26.04.1985	1198	1098,0	7,45E+03	301	NWG	269	NWG	260	NWG
07.05.1985	1199	934	5,46E+03	290	NWG	263	NWG	262	NWG
08.05.1985	1199	997,3	6,23E+03	295	NWG	265	NWG	256	NWG
14.04.1986	1199	783,2	3,65E+03	278	NWG	246	NWG	247	NWG
14.04.1986	1199	780,4	3,62E+03	279	NWG	244	NWG	240	NWG
16.04.1986	1199	823,6	4,14E+03	277	NWG	239	NWG	231	NWG
17.04.1986	1199	1019,5	6,49E+03	317	NWG	280	NWG	239	NWG
21.04.1986	1199	882,9	4,85E+03	316	NWG	280	NWG	237	NWG
22.04.1986	1199	706,3	2,73E+03	261	NWG	223	NWG	230	NWG
29.04.1986	1199	923,1	5,33E+03	269	NWG	238	NWG	243	NWG
29.04.1986	1199	727,2	2,98E+03	266	NWG	230	NWG	234	NWG
25.05.1987	1199	861,9	4,60E+03	749	30%	141	82%	224	NWG
26.05.1987	1199	801,9	3,88E+03	400	42%	262	NWG	242	NWG
27.05.1987	1199	801,1	3,87E+03	1175	20%	240	51%	226	NWG
01.06.1987	1197	932,3	5,46E+03	1141	22%	274	NWG	231	NWG
03.06.1987	1199	630,1	1,81E+03	523	36%	217	50%	195	NWG
04.06.1987	1199	958,4	5,76E+03	1167	22%	266	NWG	255	NWG
09.06.1987	1198	884,5	4,88E+03	321	53%	156	84%	222	NWG
10.06.1987	1199	783,3	3,65E+03	1483	17%	483	27%	205	NWG
10.06.1987	1199	855,9	4,53E+03	1001	24%	249	NWG	169	NWG
01.07.1987	1196	931,7	5,46E+03	916	27%	244	NWG	234	NWG
05.05.1988	1199	825,5	4,16E+03	298	NWG	252	NWG	242	NWG
07.05.1988	1199	950,6	5,66E+03	437	48%	260	NWG	243	NWG
10.05.1988	1199	938,1	5,51E+03	1004	22%	243	NWG	236	NWG
10.05.1988	1199	842,4	4,36E+03	685	29%	231	NWG	225	NWG
11.05.1988	1199	713,8	2,82E+03	280	NWG	215	NWG	212	NWG
12.05.1988	1199	863,6	4,62E+03	484	42%	220	NWG	227	NWG
12.05.1988	1199	844,8	4,39E+03	602	35%	254	NWG	230	NWG
18.05.1988	1199	825,7	4,16E+03	403	57%	256	NWG	235	NWG
29.05.1989	1199	947,0	5,62E+03	286	NWG	256	NWG	241	NWG
30.05.1989	1199	928,6	5,40E+03	302	58%	255	NWG	243	NWG
06.06.1989	1199	874,4	4,75E+03	235	67%	217	NWG	224	NWG
06.06.1989	1199	848,1	4,43E+03	329	NWG	246	NWG	241	NWG
06.06.1989	1199	807,1	3,94E+03	277	NWG	175	80%	221	NWG
07.06.1989	1199	884,4	4,87E+03	331	NWG	245	NWG	244	NWG
08.06.1989	1199	906,3	5,13E+03	288	NWG	258	NWG	245	NWG
17.04.1990	1199	837,5	4,30E+03	285	NWG	257	NWG	243	NWG
19.04.1990	1199	859,8	4,57E+03	277	NWG	250	NWG	238	NWG

27.04.1990	1198	1031,1	6,64E+03	285	NWG	256	NWG	256	NWG
09.05.1990	1199	693,9	2,58E+03	182	80%	210	NWG	213	NWG
22.04.1991	1199	850,8	4,46E+03	287	NWG	170	94%	226	NWG
23.04.1991	1199	879,1	4,80E+03	323	NWG	247	NWG	251	NWG
29.05.1991	1199	619,6	1,68E+03	275	NWG	206	NWG	217	NWG
06.06.1991	1191	917,9	5,34E+03	277	NWG	250	NWG	246	NWG
06.03.1992	1199	658,8	2,15E+03	270	NWG	209	NWG	210	NWG
12.03.1992	1199	962,9	5,81E+03	281	NWG	251	NWG	237	NWG
14.03.1992	1014	717,8	4,44E+03	329	NWG	253	NWG	267	NWG
05.03.1997	1199	700,3	2,65E+03	247	NWG	215	NWG	181	NWG
18.03.1998	1199	700,9	2,66E+03	258	NWG			224	NWG
18.03.1998	1199	845,8	4,40E+03	282	NWG			240	NWG
18.03.1998	1199	912,4	5,20E+03	252	NWG			225	NWG
18.03.1998	1199	782,2	3,64E+03	249	NWG			224	NWG
18.03.1998	1199	777,5	3,58E+03	250	NWG			221	NWG
18.03.1998	1199	707,2	2,74E+03	281	NWG			222	NWG
18.03.1998	1199	748,5	3,23E+03	255	NWG			227	NWG
18.03.1998	1199	846,8	4,42E+03	256	NWG			236	NWG
18.03.1998	1199	696,0	2,60E+03	249	NWG			221	NWG
18.03.1998	1199	769,9	3,49E+03	248	NWG			226	NWG
18.03.1998	1199	783,9	3,66E+03	256	NWG			225	NWG
18.03.1998	1199	856,2	4,53E+03	255	NWG			229	NWG
19.03.1998	1199	934,9	5,48E+03	255	NWG			236	NWG
19.03.1998	1199	916,1	5,25E+03	260	NWG			233	NWG
19.03.1998	1199	707,7	2,74E+03	274	NWG			226	NWG
19.03.1998	1199	799,3	3,84E+03	257	NWG			222	NWG
19.03.1998	1199	842,1	4,36E+03	255	NWG			232	NWG
19.03.1998	1199	806,2	3,93E+03	259	NWG			219	NWG
19.03.1998	1199	751,8	3,27E+03	250	NWG			217	NWG
19.03.1998	1199	829,9	4,21E+03	258	NWG			220	NWG
24.03.1998	1199	870,0	4,69E+03	254	NWG			230	NWG
24.03.1998	1197	958,4	5,78E+03	259	NWG			228	NWG
24.03.1998	1193	793,6	3,82E+03	260	NWG			221	NWG
24.03.1998	1194	904,2	5,15E+03	260	NWG			225	NWG
24.03.1998	1190	761,2	3,46E+03	249	NWG			220	NWG
24.03.1998	1193	760,8	3,43E+03	244	NWG			221	NWG
24.03.1998	1194	846,8	4,46E+03	250	NWG			231	NWG
24.03.1998	1199	782,9	3,65E+03	254	NWG			221	NWG
24.03.1998	1193	776,6	3,62E+03	261	NWG			222	NWG
24.03.1998	1180	771,4	3,66E+03	260	NWG			227	NWG
24.03.1998	1191	687,2	2,55E+03	291	NWG			225	NWG
24.03.1998	1198	818,9	4,09E+03	249	NWG			221	NWG
25.03.1998	1199	826,4	4,17E+03	250	NWG			222	NWG
25.03.1998	1199	872,5	4,72E+03	255	NWG			229	NWG
25.03.1998	1199	708,3	2,75E+03	250	NWG			211	NWG
25.03.1998	1199	886,2	4,89E+03	277	NWG			234	NWG
25.03.1998	1199	800,3	3,86E+03	253	NWG			227	NWG

25.03.1998	1199	770,2	3,49E+03	255	NWG			177	NWG
25.03.1998	1199	802,6	3,88E+03	256	NWG			223	NWG
25.03.1998	1199	822,4	4,12E+03	260	NWG			230	NWG
25.03.1998	1199	771,3	3,51E+03	258	NWG			221	NWG
25.03.1998	1199	814,7	4,03E+03	250	NWG			234	NWG
25.03.1998	1199	797,9	3,83E+03	256	NWG			227	NWG
26.03.1998	1050	774,1	4,86E+03	336	NWG			273	NWG
26.03.1998	1199	772,6	3,52E+03	253	NWG			223	NWG
26.03.1998	1199	801,4	3,87E+03	258	NWG			227	NWG
26.03.1998	1199	816,9	4,06E+03	256	NWG			224	NWG
26.03.1998	1199	847,4	4,42E+03	263	NWG			233	NWG
26.03.1998	1199	809,7	3,97E+03	264	NWG			226	NWG
26.03.1998	1199	840,4	4,34E+03	261	NWG			228	NWG
27.03.1998	1199	802,0	3,88E+03	254	NWG			222	NWG
30.03.1998	1199	809,1	3,96E+03	258	NWG			230	NWG
03.04.1998	1199	876,6	4,77E+03	252	NWG			223	NWG
07.04.1998	1199	765,5	3,44E+03	248	NWG			228	NWG
22.03.1999	1200	729,9	3,00E+03	250	NWG			177	NWG
30.03.1999	1200	817,9	4,06E+03	253	NWG			235	NWG
11.04.2000	1199	897,5	5,03E+03	284	NWG			233	NWG
21.03.2001	1199	846,0	4,41E+03	253	NWG			229	NWG
21.03.2001	1199	875,2	4,76E+03	256	NWG			230	NWG
21.03.2001	1199	791,4	3,75E+03	269	NWG			239	NWG
27.03.2001	1199	759,5	3,37E+03	253	NWG			220	NWG
04.04.2002	1199	800,7	3,86E+03	256	NWG			224	NWG
04.04.2002	1199	775,2	3,55E+03	350	NWG			342	NWG
05.04.2002	1199	798,5	3,83E+03	278	NWG			230	NWG
10.04.2002	1199	680,8	2,420E+03	260	NWG			221	NWG
09.03.2004	1199	891,4	4,952E+03	340	NWG			240	NWG
09.03.2004	1199	715,7	2,84E+03	245	NWG			217	NWG
11.03.2004	1200	861,4	4,583E+03	252	NWG			224	NWG
30.03.2004	1200	838,8	4,31E+03	251	NWG			226	NWG
01.06.2005	1023	834,9	6,000E+03	294	NWG			196	NWG
09.06.2005	917	726,2	5,65E+03	333	NWG			235	NWG
09.06.2005	928	655,5	4,417E+03	324	NWG			239	NWG
14.06.2005	967	775,5	5,796E+03	309	NWG			218	NWG
30.03.2006	1198	758,9	3,366E+03	249	NWG			217	NWG
04.04.2006	1197	744,6	3,202E+03	244	NWG			222	NWG
06.04.2006	1198	757,7	3,35E+03	249	NWG			223	NWG
10.04.2006	1197	716,9	2,868E+03	234	NWG			215	NWG
21.03.2007	1200	529	6,36E+03	310	NWG			249	NWG
22.03.2007	1200	742,3	8,919E+03	328	NWG			279	NWG
23.03.2007	1200	547,1	8,06E+02	288	NWG			281	NWG
28.03.2007	1200	517,8	4,54E+02	284	NWG			238	NWG
02.04.2007	1200	459,9	5,53E+03	242	NWG			200	NWG
02.04.2007	1200	309	3,71E+03	258	NWG			199	NWG
08.04.2008	1200	579,9	1,200E+03	340	NWG			283	NWG

09.04.2008	1200	747	3,208E+03	338	NWG			292	NWG
06.05.2008	1200	694,9	2,58E+03	336	NWG			272	NWG

K-40	Angaben zum natürlich vorkommendem Radionuklid Kalium 40 (K-40), das in jeder Person vorhanden ist
Netto cts:	Anzahl der vor der Messanlage registrierten Impulse (counts [cts]) abzüglich des Untergrundbeitrags im Spektrum
A (K-40)	Wert der Körperaktivität in Bq für das Radionuklid K-40
Cs-137	Angaben zum künstlichen Radionuklid Cäsium 137 (Cs-137), das z. B aus dem Kernwaffentest-fall-out oder vom Unfall in Tschernobyl stammen kann
A (Cs-137)	Wert der Körperaktivität in Bq für das Radionuklid Cs-137 zum Zeitpunkt der Messung
Unsicherheit	Liegt das Messergebnis unter der Nachweisgrenze (NWG), so ist als obere Grenze der Wert der Nachweisgrenze angegeben (Angabe: NWG); liegt ein signifikanter Messbeitrag für Cs-137 vor, so ist der Messwert in Bq mit seiner relativen Unsicherheit (3 sigma, in Prozent) angegeben.
Cs-134	Angaben zum künstlichen Radionuklid Cäsium 134 (Cs-134), das z. B. aus dem Unfall von Tschernobyl stammen kann
A (Cs-134)	Wert der Körperaktivität in Bq für das Radionuklid Cs-134 zum Zeitpunkt der Messung
Unsicherheit	analog wie bei Cs-137
Co-60	Angaben zum künstlichen Radionuklid Kobalt 60 (Co-60), das aus der Nuklearindustrie stammt
A (Co-60)	Wert der Körperaktivität in Bq für das Radionuklid Co-60 zum Zeitpunkt der Messung
Unsicherheit	analog wie bei Cs-137.

Körperdosisermittlungen

Abweichend vom üblichen Verfahren, eine Körperdosis zu berechnen – Rückrechnung aus dem gemessenen Körperaktivitätswert auf die einmalige Zufuhr zu einem bestimmten Zeitpunkt und daraus die Berechnung der Folgedosis mit Hilfe des Dosiskoeffizienten – kann auch über den Wert der Dosis je Kernumwandlung für einen bestimmten Zeitraum die individuelle Dosis ermittelt werden. Voraussetzung ist die Kenntnis des Zeitverlaufs der Körperaktivität in diesem Zeitraum (diese Methode wird als Integrationsverfahren bezeichnet).

Unterstellt man eine gleich bleibende Körperaktivität von jeweils 1000 Bq über ein ganzes Jahr, so ergeben sich folgende Jahresdosen:

Cs-137 : 0,035 mSv

Cs-134: 0,056 mSv

Für eine Inhalation von 1000 Bq Co-60 zu einem Zeitpunkt von einem Jahr vor der Messung ergäbe sich eine Dosis von 0,68 mSv.

Mit dieser Dosisabschätzung kann gezeigt werden, dass der in der Schachanlage Asse II eingesetzte Ganzkörperzähler geeignet war, Körperdosen aus der Inkorporation von Standardnukliden im Bereich von 1 mSv zu erkennen.

Anhang 3 : Datenbankkonzept

Zur Durchführung des GM Asse wurde eine Access-Datenbank erstellt. Die Datenbank dient in erster Linie der Datenhaltung, –pflege und –aufbereitung. Die Programmierung des Quantifizierungskonzepts erfolgte über die Statistiksoftware SAS. Im folgenden wird das Grobkonzept der Access-Datenbank vorgestellt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird den Tabellen jeder Datengruppe ein eindeutiger Anfangsbuchstabe vorangestellt. Mit diesem Anfangsbuchstaben beginnen auch die zu den jeweiligen Tabellen gehörenden Variablen. Besteht eine Datengruppe aus mehreren Tabellen, kennzeichnet der zweite Buchstabe des Tabellennamens die jeweils dazu gehörige Tabelle. Die Datenbank enthält folgende Datengruppen mit den folgenden Anfangsbuchstaben (in Klammer):

- (P) Pseudonymisierte **P**ersonaldaten
- (A) Pseudonymisierte Daten zu den **A**rbeitsanamnesen
- (D) Pseudonymisierte Daten zur Personen**D**osimetrie
- (I) Pseudonymisierte Daten zur **I**nkorporationsüberwachung
- (L) Daten zur Gruben**L**uft- und Abluftüberwachung
- (S) Daten zu **S**alzlösungen.

Im folgenden wird die Datenbankstruktur näher beschrieben. Für jede Tabelle wird kurz der Inhalt, die Anzahl der Datensätze pro Person und der Zeitraum, über den sich die Daten erstrecken, angegeben. In Kapitel A 3.1 werden die personenbezogenen pseudonymisierten Daten, die über den Primärschlüssel „Identifikationsnummer“ (ID) miteinander verknüpft sind, beschrieben. In Kapitel A 3.2 sind die nicht personenbezogenen Expositionsdaten aufgeführt, die über die Beschäftigungszeit einer Person sowie ggf. über deren Arbeitsplatz und Tätigkeit verknüpft werden (siehe dazu Abbildung A 3.1).

Struktur der Access-Datenbank für das Gesundheitsmonitoring Asse

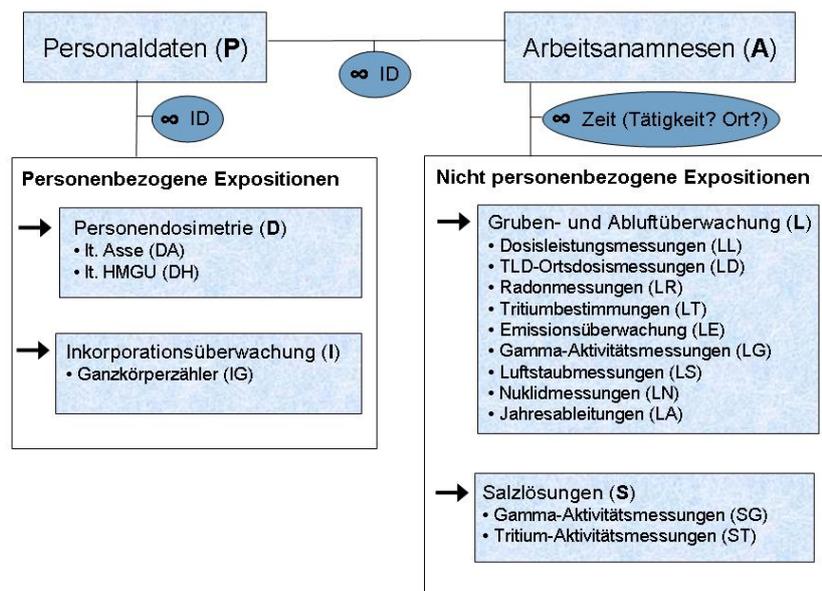


Abb. A 3.1: Struktur der Access Datenbank für das Gesundheitsmonitoring Asse

A 3.1 Beschreibung der personenbezogenen Daten

Zu den personenbezogenen Daten, die pseudonymisiert vorliegen, gehören die Personaldaten (P), die Arbeitsanamnesen (A), die Daten zur Personendosimetrie (D) und zur Inkorporationsüberwachung (I).

- **PERSONALDATEN (P)**

Inhalt: Alle zwischen 04.04.1967 und 31.12.2008 bei der Asse beschäftigten Personen

Datensätze: Ein Datensatz pro Person (n = 800)

Zeitraum: 1967 - 2008

- **ARBEITSANAMNESEN (A)**

Inhalt: Beschäftigungszeiten der bei der Asse beschäftigt gewesenen Personen mit der Angabe von nachweisbaren Unter-Tage-Schichten

Datensätze: Ein bis mehrere Datensätze pro Person (n = 17.594)

Zeitraum: 1976 - 2008

- **PERSONENDOSIMETRIE (D)**

- (1) Amtliche Personendosimetrie Asse (DA)**

Inhalt: Monatliche, vierteljährliche und jährliche Messwerte für vom Strahlenschutz überwachte Asse-Beschäftigte laut *Asse GmbH*

Datensätze: Ein bis mehrere Datensätze pro Person für 385 Personen

Zeitraum: 1967 - 2008

- (2) Amtliche Personendosimetrie HMGU (DH)**

Inhalt: Monatliche Messwerte für vom Strahlenschutz überwachte Asse-Beschäftigte laut *Messstelle (GSF/HMGU)*

Datensätze: Ein bis mehrere Datensätze pro Person für 273 Personen

Zeitraum: 1970 - 1997

- **INKORPORATIONSÜBERWACHUNG (I)**

- Ganzkörpermessungen (IG)**

Inhalt: Ganzkörpermessungen von K-40 und Cs-137 für 292 Personen

Datensätze: Ein bis mehrere Datensätze pro Person

Zeitraum: 1972 - 2008

A 3.2 Beschreibung der nicht personenbezogenen Daten

Zu den nicht personenbezogenen Daten gehören Daten zur Gruben- und Abluftüberwachung (L) und Salzlösungen (S).

- **GRUBENLUFT- UND ABLUFTÜBERWACHUNG (L)**

- (1) Dosisleistungsmessungen (LL)**

Inhalt: Dosisleistungsmessungen für a) Grube (mit 27 verschiedenen Messorten), b) Kammer 8a und c) Strahlenschutzmauer [nSv/h], teilweise [µSv/h]

Datensätze: Grube (n = 2.366), Kammer 8a (n = 1.560), Strahlenschutzmauer (n = 652)

Zeitraum: 1980 – 2008, meist 4 – 7 Messungen/Jahr

- (2) TLD-Ortsdosisleistungsmessungen (LD)**

Inhalt: Messungen der TLD-Ortsdosisleistung [nSv/h] für Betrieb, Umgebung und Zaun mit Angabe der daraus ermittelten Jahres-Ortsdosis [mSv]

Datensätze: TLD-Ortsdosisleistung (n = 5.923), Ortsdosis (n = 1.997)

Zeitraum: 1975 – 2008, meist 2 Messungen/Jahr

(3) Radonmessungen (LR)

Inhalt: Radonmessungen [Bq/m^3] für 21 verschiedene Messorte

Datensätze: 10.697 Datensätze, wöchentliche bis 14tägliche Messungen

Zeitraum: 1989 - 2008

(4) Tritiumbestimmungen (LT)

Inhalt: Tritium-Aktivitätsmessungen im Kondensat [kBq/l] bzw. teilweise [Bq/l] und in den Grubenwettern [Bq/m^3] für 30 verschiedene Messorte

Datensätze: 2.932 Datensätze, meist 3 – 4 Messungen/Jahr

Zeitraum: 1972 – 2008

(5) Gamma-Aktivitätsmessungen (LG)

Inhalt: Luftüberwachung der Gammaaktivität für die Nuklide Be-7, Zr-95, Nb-95, Ru-103, Ru-106/Rh-106, Sb-125, Cs-137, Ce-141, Ce-144, Pb-210 [mBq/m^3] für die vier Messorte Schacht 2, Schacht 4, Druckerhöhungsstation, und Zaun

Datensätze: 7.913 Datensätze, meist 14tägliche Messungen

Zeitraum: 1977 - 2008

(6) Luftstaubmessungen (LS)

Inhalt: Angaben zur

- kurzlebigen Aerosolaktivität für Alpha, Beta und Gesamt [Bq/m^3], vor 1995 mit Angaben zum Luftdurchsatz [m^3/min] und ab 1995 zur Halbwertszeit [min] und zur
- langlebigen Aerosolaktivität für Alpha und Beta [Bq/m^3] sowie Erkennungs- und Nachweisgrenze (Alpha, Beta) ab 1995 für 41 verschiedene Messstellen

Datensätze: 14.995 Datensätze, unterschiedliche Häufigkeit der Messungen

Zeitraum: 1969 - 2008

(7) Nuklidmessungen (LN)

Inhalt: Angaben zur Nuklidkonzentration [$\mu\text{Bq/m}^3$] für folgende Nuklide: Am-241, Ba-140/La-140, Be-7, Ce-141, Ce-144, Co-58, Co-60, Cs-134, Cs-137, J-125, J-131, K-40, Mn-54, Nb-95, Nd-147, Pb-210, Pu-238, Pu-239/240, Ra-226, Ru-103, Ru-106, Sb-125, Sb-126, Sb-126m, Sn-126, Sn-126m/Sb-126, Sr-90, Te-125m und Zr-95 für 17 verschiedene Messorte

Datensätze: 6.496 Datensätze, meist eine Messung/Jahr, teilweise nur 1 -3 Messungen insgesamt an einem Messort, Messungen über Tage meist 2x/Jahr.

Zeitraum: 1976 - 2008

(8) Emissionsüberwachung (LE)

Inhalt: Angaben zur

- kurzlebigen Aerosolaktivität für Alpha, Beta und Gesamt [Bq/m^3], Halbwertszeit [min] und teilweise Luftdurchsatz [m^3/h] sowie zur
- langlebigen Aerosolaktivität für Alpha und Beta [Bq/m^3] mit Erkennungs- und Nachweisgrenze (alpha, beta) ab 1995 bzw. Durchsatz und Wirkungsgrad vor 1995 für die vier Messstellen Schacht 2, Schacht 4, Druckerhöhungsstation und Zaun

Datensätze: 3.186 Datensätze, meist 14tägliche Messungen

Zeitraum: 1971 – 2008

(9) Jahresableitungen radioaktiver Stoffe (LA)

Inhalt: Jahresableitungen radioaktiver Stoffe mit der Abluft von Schacht 2 für kurzlebige Aerosolaktivität für Rn-222-Gas, Rn-222-Folgeprodukte, H-3, C-14, Pb-210 und J-129 [GBq]

Datensätze: 31 Datensätze (ein Datensatz pro Jahr)

Zeitraum: 1978 - 2008

- **SALZLÖSUNGEN (S)**

- (1) Gammaaktivitätsmessungen (SG)**

- Inhalt: Angaben zur Gamma-Aktivität [Bq/l] in Laugeproben für Bi-214, Cs-134, Cs-137, Co-60, Pb-210, Pb-212, Pb-214, Pu-239/240, Ra-226, Sr-90 und U-235 für 42 verschiedene Messorte (einschließlich Schlitz)

- Datensätze: 5.049 Datensätze, meist monatliche Messungen

- Zeitraum: 1988 - 2008

- (2) Tritiumaktivitätsmessungen (ST)**

- Inhalt: Angaben zur Tritium-Aktivität [kBq/l] im Destillat für 43 verschiedene Messorte (einschließlich Schlitz)

- Datensätze: 3.242 Datensätze, meist monatliche Messungen

- Zeitraum: 1988 - 2008