Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben

Verfahrensunterlage

Titel:	**Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben Sicherheitsanalyse des bestimmungsgemäßen Betriebs**
Autor:	**Müller, W., Mari?, D. & Alkan, H.**
Erscheinungsjahr:	**2006**
Unterlagen-Nr.:	**P 247**
Revision:	**01**
Unterlagenteil:	

Bundesamt für Strahlenschutz

Wolfgang Müller/Dubravko Marić/Hakan Alkan

„Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben - Sicherheitsanalyse des bestimmungsgemäßen Betriebs“

ERAM, Stilllegungsbetrieb, Sicherheitsanalyse, Freisetzung, Aktivitätsfluss, Ableitung

KURZFASSUNG

In der vorliegenden Revision 2 des Berichts werden die grundsätzlichen Anforderungen (Schutzziele) an die Auslegung und den bestimmungsgemäßen Stilllegungsbetrieb abgeleitet und spezifiziert. Es wird dargestellt, wie diese Anforderungen in der Planung berücksichtigt sind. Auf der Grundlage dieses Sachverhalts wird das Freisetzungs- und Transportverhalten der in den eingelagerten radioaktiven Abfällen enthaltenen flüchtigen radioaktiven Stoffe untersucht und es werden Erwartungswerte der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und den Abwettern ermittelt. Ferner wird die radiologische Situation hinsichtlich Strahlung und Abschirmung in der Stilllegungsphase charakterisiert und es werden Erwartungswerte der Strahlenexposition des Personals bestimmt. Die radiologischen Auswirkungen anomaler Betriebszustände während der Stilllegungsphase werden dargestellt. Die Wirkung der Strahlung auf das Salzgestein wird beschrieben.

EDA Morsleben

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	9
2	DEFINITION DER SCHUTZZIELE	10
3	UMSETZUNG DER SCHUTZZIELE	12
3.1	Anforderungen an die Verfüllplanung	12
3.2	Anforderungen an die Bewetterung	13
3.3	Sonstige Anforderungen	15
4	BESCHREIBUNG DER ANLAGE EINSCHLIEßLICH DER GETROFFENEN SCHUTZMAßNAHMEN	16
4.1	Ausgangssituation für die Stilllegung	16
4.2	Nordfeld	18
4.2.1	Vor-Ort-Gegebenheiten	18
4.2.2	Inventar an radioaktiven Stoffen	19
4.2.3	Überdeckung der Abfälle zum Beginn der Umrüstphase	19
4.2.4	Abschlüsse zum Beginn der Umrüstphase	19
4.2.5	Verfüllkonzept	19
4.2.6	Bewetterung	20
4.3	Zentralteil	20
4.3.1	Vor-Ort-Gegebenheiten	20
4.3.2	Inventar an radioaktiven Stoffen	20
4.3.3	Überdeckung der Abfälle zum Beginn der Umrüstphase	21
4.3.4	Abschlüsse zum Beginn der Umrüstphase	21
4.3.5	Verfüllkonzept	21
4.3.6	Bewetterung	21
4.4	Westfeld	21
4.4.1	Vor-Ort-Gegebenheiten	21
4.4.2	Inventar an radioaktiven Stoffen	22
4.4.3	Überdeckung der Abfälle zum Beginn der Umrüstphase	23
4.4.4	Abschlüsse zum Beginn der Umrüstphase	23
4.4.5	Verfüllkonzept	24
4.4.6	Bewetterung	24
4.5	Südfeld	24
4.5.1	Vor-Ort-Gegebenheiten	24
4.5.2	Inventar an radioaktiven Stoffen	27
4.5.3	Überdeckung der Abfälle zum Beginn der Umrüstphase	29
4.5.4	Abschlüsse zum Beginn der Umrüstphase	29
4.5.5	Verfüllkonzept	29
4.5.6	Bewetterung	30
4.6	Ostfeld	31

ERA Morsleben

4.6.1	Vor-Ort-Gegebenheiten	31
4.6.2	Inventar an radioaktiven Stoffen	31
4.6.3	Überdeckung der Abfälle zum Beginn der Umrüstphase	31
4.6.4	Abschlüsse zum Beginn der Umrüstphase	32
4.6.5	Verfüllkonzept	32
4.6.6	Bewetterung	32
4.7	Untertagemessfeld	32
4.7.1	Vor-Ort-Gegebenheiten	32
4.7.2	Inventar an radioaktiven Stoffen	33
4.7.3	Überdeckung der Abfälle zum Beginn der Umrüstphase	33
4.7.4	Abschlüsse zum Beginn der Umrüstphase	33
4.7.5	Verfüllkonzept	34
4.7.6	Bewetterung	34
4.8	Radioaktive Stoffe außerhalb der Einlagerungsbereiche	34
5	ERMITTLUNG DER ABLEITUNG RADIOAKTIVER STOFFE MIT DEN ABWETTERN	34
5.1	Aktivitätsinventar flüchtiger Radionuklide	35
5.1.1	Tritium (H-3)	35
5.1.2	Kohlenstoff-14 (C-14)	36
5.1.3	Radium-226 (Ra-226)	38
5.2	Ableitung von Freisetzungsraten aus der bisherigen Betriebserfahrung	39
5.2.1	Tritium (H-3)	39
5.2.2	Kohlenstoff-14 (C-14)	41
5.2.3	Radon-222 (Rn-222)	42
5.3	Aktivitätstransport durch Versatz und technische Barrieren	44
5.3.1	Versatz	44
5.3.1.1	Tritium (H-3)	44
5.3.1.2	Kohlenstoff-14 (C-14)	45
5.3.1.3	Radon-222 (Rn-222)	46
5.3.2	Technische Barrieren	46
5.4	Modellierung des Radionuklidtransports aus den Einlagerungsbereichen in bewetterte Grubenbereiche	46
5.5	Freisetzung flüchtiger Radionuklide und Aerosole in die Abwetter	48
5.5.1	Freisetzungsrate für Tritium im bestimmungsgemäßen Betrieb während der Stilllegungsphase	50
5.5.2	Freisetzungsrate für Kohlenstoff-14 im bestimmungsgemäßen Betrieb während der Stilllegungsphase	50
5.5.3	Freisetzungsrate für Radon-222 und Abschätzung der Blei-210-Ableitung im bestimmungsgemäßen Betrieb während der Stilllegungsphase	50
5.5.4	Freisetzungsrate für Aerosole im bestimmungsgemäßen Betrieb während der Stilllegungsphase	52
5.5.4.1	Erfahrungen	52
5.5.4.2	Vorgehensweise in Planfeststellungsverfahren	52
5.5.4.3	Abschätzung der Aktivitätsableitung von Aerosolen mit den Abwettern	53

FRA Morsleben

5.6 Erwartungswerte der Aktivitätsableitung mit den Abwettern im bestimmungsgemäßen Stilllegungsbetrieb 54

6 STRAHLENEXPOSITION DES PERSONALS 55

6.1 Strahlenexposition durch äußere Bestrahlung 55
6.1.1 Betriebserfahrungen 55
6.1.2 Schutzmaßnahmen 56
6.2 Strahlenexposition durch innere Bestrahlung 56
6.2.1 Betriebserfahrungen 56
6.2.2 Maßnahmen, Strahlenexpositionen 57

7 SONSTIGE AUSWIRKUNGEN 58

7.1 Anomale Betriebszustände während der Stilllegungsphase 58
7.1.1 Übertägiger Betriebsbereich 59
7.1.2 Bereich der Schachtförderanlage 60
7.1.3 Untertägige Betriebsbereiche 60
7.2 Auswirkung von Überschusslösungen 62
7.3 Wirkung der Strahlung auf Salzgestein 64

8 LITERATUR 66

Seitenzahl gesamt 71

ERA Morsleben

VERZEICHNIS DER BILDER

Bild 4-1 Einlagerungsgrubenbaue des ERAM 18

Bild 5-1 Tritiumfreisetzung aus dem Westfeld 1 nach Versetzen und Verschluss des Einlagerungsbereichs (Grün: Basisfall, schwarz: Worst Case, blau: Tritiumfreisetzung aus dem Abfall) 47

ERA Morsleben

VERZEICHNIS DER TABELLEN

Tabelle 5-1: Verteilung des H-3-Inventars auf die Einlagerungsbereiche des ERAM 36

Tabelle 5-2: Verteilung der H-3-Speziation der 1994 bis 1998 eingelagerten Abfälle in den Einlagerungsbereichen 37

Tabelle 5-3: Verteilung des C-14-Inventars auf die Einlagerungsbereiche des ERAM 37

Tabelle 5-4: Verteilung der C-14-Speziation auf die Einlagerungsbereiche 38

Tabelle 5-5: Verteilung des Ra-226-Inventars auf die Einlagerungsbereiche des ERAM 38

Tabelle 5-6: Jahresableitung von Tritium mit den Abwettern des ERAM /DBE 99ff./ 40

Tabelle 5-7: Abgeleitete mittlere jährliche relative H-3-Freisetzungsraten des ERAM 40

Tabelle 5-8: Jahresableitung von C-14 mit den Abwettern des ERAM /DBE 99ff./ 41

Tabelle 5-9: Abgeleitete mittlere jährliche relative C-14-Freisetzungsraten des ERAM 42

Tabelle 5-10: Jahresableitung von Rn-222 einschließlich des Radons natürlicher Herkunft mit den Abwettern des ERAM /DBE 99ff./ 42

Tabelle 5-11: Abgeleitete mittlere jährliche relative Rn-222-Freisetzungsraten im ERAM 43

Tabelle 5-12: Rechnerisch ermittelte maximale jährliche Ableitungen von Tritium und C-14 mit den Abwettern aus den einzelnen Einlagerungsbereichen 48

Tabelle 5-13: Freisetzungsraten aus den Abfällen und Erwartungswerte der Ableitung flüchtiger radioaktiver Stoffe mit den Abwettern im bestimmungsgemäßen Betrieb während der Stilllegungsphase 54

Tabelle 6-1: Ergebnisse der Messungen der äußeren Strahlenexposition des Personals im ERAM (in mSv/a für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A) 56

Tabelle 6-2: Maximalwerte der inneren Strahlenexposition des Personals 57

Tabelle 7-1: Erhöhung der Aktivitätszufuhr bei Totalausfall der Bewetterung 61

ERA Morsleben

1 EINLEITUNG

Das Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) wurde 1971 im ehemaligen Kali- und Steinsalzbergwerk Bartensleben eingerichtet. Nach Abschluss des Versuchsbetriebes wurde 1981 zunächst eine auf fünf Jahre befristete und 1986 eine Genehmigung zum Dauerbetrieb für die Endlagerung niedrig- und mittelaktiver radioaktiver Abfälle erteilt /STA 86/. Nach der Wiedervereinigung galt diese Dauerbetriebsgenehmigung nach § 57a Abs. 1 Nr. 1 Atomgesetz (AtG) /BMU 05/ als fiktiver Planfeststellungsbeschluss befristet bis zum 30. Juni 2000 fort. Durch eine Übergangsregelung im Atomgesetz wurde die Dauerbetriebsgenehmigung vorerst bis zum 30. Juni 2005 verlängert und seit dem 22. April 2002 gilt sie gemäß § 57a Abs. 1 Nr. 4 AtG mit Einschränkungen unbefristet weiter. Seit dem 25. September 1998 werden als Folge eines Gerichtsbeschlusses keine radioaktiven Abfälle mehr zur Endlagerung angenommen. Gemäß § 57a Abs. 1 Nr. 4 AtG sind die Gestattungen zur Annahme von weiteren radioaktiven Abfällen oder deren Einlagerung zum Zwecke der Endlagerung im ERAM mit dem 27.04.2002 unwirksam.

Im ERAM sind niedrig- und mittelaktive radioaktive Abfälle mit überwiegend kurzlebigen Radionukliden /BFS 96/ aus

- dem Betrieb von Kernkraftwerken,
- der Stilllegung von kerntechnischen Anlagen,
- der kerntechnischen Industrie,
- Forschungseinrichtungen,
- Landessammelstellen bzw. direkt von Kleinverursachern und
- dem Umgang sonstiger Anwender (z. B. Bundeswehr)

endgelagert /BFS 06/, /BFS 06a/. Weiterhin sind radioaktive Abfälle in einem endlagergerechten Zustand zwischengelagert. Radioaktive und potenziell kontaminierte Eigenabfälle des ERAM sind in den Einlagerungsgrubenbauen endgelagert bzw. auch in eigens den Eigenabfällen zugewiesenen Einlagerungsgrubenbauen zwischengelagert. Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hat am 09.05.1997 einen Antrag zur Stilllegung des Endlagers Morsleben mit den darin eingelagerten radioaktiven Abfällen eingereicht. Mit dem Änderungsantrag des BfS vom 12.09.2005 werden die während des Stilllegungsbetriebes noch anfallenden radioaktiven Eigenabfälle einbezogen. Ferner soll gemäß dem Änderungsantrag im Rahmen des Verfahrens auch die Endlagerung der zwischengelagerten radioaktiven Abfälle genehmigt werden.

Die unterschiedlichen radioaktiven Rohabfälle waren so verarbeitet, dass sie bei ihrer Anlieferung im ERAM die Anforderungen an die endzulagernden radioaktiven Abfälle erfüllten /BFS 96/.

Zur Stilllegung des ERAM ist gemäß § 9b Abs. 1 AtG eine Planfeststellung erforderlich und gemäß § 9b Abs. 4 AtG i. V. m. § 7 Abs. 2 Nr. 3 AtG nachzuweisen, dass die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden bei der Stilllegung der Anlage getroffen ist. Als eine der zu erfüllenden Voraussetzungen für den Nachweis der Einhaltung der grundsätzlichen Schutzziele wird in den Sicherheitskriterien für die

Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk /BMI 83/ die Durchführung einer Sicherheitsanalyse vorgeschrieben. Bestandteil einer Sicherheitsanalyse ist u. a. eine Betrachtung des bestimmungsgemäßen Betriebes aus radiologischer Sicht.

Ab dem Zeitpunkt der Ausnutzung des Planfeststellungsbeschlusses (PFB) beginnt die Umrüstung für die Stilllegung. Diese wird im Folgenden "Umrüstphase" genannt. Anschließend beginnt die Stilllegungsphase (Verfüllen und Abdichten). Zusammen werden die Umrüstphase und die Stilllegungsphase im Weiteren als Stilllegungsbetrieb bezeichnet.

Im vorliegenden Bericht werden die strahlenschutzspezifischen Schutzziele und die daraus abgeleiteten Anforderungen insbesondere an die Verfüllplanung und die Bewetterung beschrieben. Das Freisetzungs- und Transportverhalten der in den eingelagerten radioaktiven Abfällen enthaltenen flüchtigen radioaktiven Stoffe wird untersucht. Ferner werden Erwartungswerte der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und den Abwettern ermittelt. Die radiologische Situation hinsichtlich Strahlung und Abschirmung wird charakterisiert und es werden Erwartungswerte der Strahlenexposition des Personals bestimmt. Die potenziellen radiologischen Auswirkungen durch das Auftreten von Überschusslösungen werden dargestellt und der Einfluss von anomalen Betriebszuständen während der Stilllegungsphase wird analysiert. Schließlich wird die Wirkung der Strahlung auf das Salzgestein beschrieben.

In der Sicherheitsanalyse werden die im Rahmen der Dauerbetriebsgenehmigung geplanten und geschaffenen Rahmenbedingungen beachtet. Konkret werden die folgenden geplanten Änderungsmaßnahmen als bereits bis zum Beginn der Umrüstphase umgesetzt angenommen:

- Überdeckung der obersten Stapelebene im Abbau 2 des Ostfeldes mit Salzgrus;
- Rückbau des aktiven Labors über Tage;
- Errichtung eines Radionuklid-Laborplatzes unter Tage im Südfeld 4. Sohle;
- Rückbau der speziellen Kanalisation über Tage;
- Abwesenheit von radioaktiven Stoffen über Tage und im Schachtbereich Bartensleben (bis auf das Inventar des Laborcontainers zur Umgebungsüberwachung über Tage);
- Aufhebung des Kontrollbereichs über Tage sowie in der Schachtröhre und im unteren Teil des Fördergestells, d. h. Reduzierung des Kontrollbereichs auf die 4. Sohle im Grubenfeld Bartensleben;
- Verlegung der Dosimetriewarte vom derzeitigen Eingang zum Kontrollbereich im Förderturm Bartensleben zum künftigen Eingang am Füllort Bartensleben 4. Sohle;
- Ableitung der Abwetter aus den Einlagerungsbereichen Nordfeld, Zentralteil, UMF und Ostfeld über den Abwetterschlot am Schacht Marie, der Teil eines neuen Abwetterbauwerks ist.

2 DEFINITION DER SCHUTZZIELE

Die grundsätzlichen strahlenschutzspezifischen Anforderungen für die Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben leiten sich ab aus folgenden Rechtsgrundlagen:

Für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in Bergwerken sind die Anforderungen des Atomgesetzes /BMU 05/ und des darauf basierenden untergesetzlichen Regelwerks einzuhalten. Das Bundesberggesetz (BBergG) /BMW 05/ räumt gemäß § 57b Abs. 3 Satz 2 dem Atom-

recht im Konfliktfall den Vorrang ein. Den Anforderungen aus dem Bergrecht wird im Rahmen des atomrechtlichen Verfahrens Genüge getan.

Nach § 9b AtG bedürfen die Errichtung und der Betrieb von Anlagen zur Endlagerung radioaktiver Abfälle gemäß § 9a Abs. 3 AtG sowie die wesentliche Veränderung solcher Anlagen oder ihres Betriebes der Planfeststellung. Die Stilllegung derartiger Anlagen stellt in diesem Zusammenhang eine wesentliche Änderung dar. Der Planfeststellungsbeschluss darf nur erteilt werden, wenn die in § 7 Abs. 2 Nr. 1, 2, 3 und 5 AtG genannten Voraussetzungen erfüllt sind. Diese besagen unter anderem, dass die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden nachgewiesen werden muss. Ein Bestandteil dieses Nachweises ist gemäß den Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk /BMI 83/ die Durchführung einer Sicherheitsanalyse für den bestimmungsgemäßen Betrieb.

Die in den genannten Vorschriften formulierten allgemeinen Schutzziele werden im Hinblick auf die radiologischen Auswirkungen der Stilllegung in der Strahlenschutzverordnung /BMU 05a/ weiter konkretisiert. Zu dieser Konkretisierung gehören der Anwendungsbereich (§ 2 Abs. 1 Nr. 1c) und die Strahlenschutzgrundsätze der ***Rechtfertigung* (§ 4), *Dosisbegrenzung* (§ 5) und *Vermeidung/Minimierung* (§ 6).**

Solange das Endlager nicht verfüllt und verschlossen ist und die Umrüst- und Stilllegungsmaßnahmen durchgeführt werden, gelten im Hinblick auf die Strahlenexposition in der Umgebung §§ 46, 47 StrlSchV. Für die Strahlenexposition des Personals sind die Grenzwerte des § 55 StrlSchV maßgebend. Zum Nachweis der Einhaltung des Strahlenschutzgrundsatzes der ***Dosisbegrenzung*** (§ 5 StrlSchV) ist daher zu zeigen, dass während der Stilllegung die genannten Dosisgrenzwerte eingehalten werden.

Über die Anforderungen der Rechtfertigung und der Dosisbegrenzung hinaus legt der dritte Strahlenschutzgrundsatz der ***Vermeidung bzw. Minimierung*** fest, dass unnötige Strahlenexpositionen zu vermeiden sind und jede Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalls auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich zu halten sind.

Die dargestellten radiologischen Schutzziele können in der vorliegenden Form nur auf die allgemeine Beschreibung der Auslegungsanforderungen aus der Sicht des bestimmungsgemäßen Stilllegungsbetriebs (einschließlich anomaler Betriebszustände) angewandt werden. Für die Anwendung während der Stilllegung ist eine Umsetzung der Schutzziele in konkrete Anforderungen und Maßnahmen erforderlich.

Dies betrifft vor allem die Identifikation von Ereignissen, Anlagenzuständen, Betriebsabläufen und Handhabungen, die Einfluss auf den bestimmungsgemäßen Stilllegungsbetrieb (einschließlich anomaler Betriebszustände) haben können, die Charakterisierung und Kontrolle des Aktivitätsflusses im Grubengebäude (i. W. mit den potenziell kontaminierten Überschusslösungen) und den Abwettern (i. W. Änderungen der Bewetterung infolge der Verfüllmaßnahmen), die Beschreibung der radiologischen Auswirkungen der geplanten Verfüllmaßnahmen sowie den Nachweis der diesbezüglich getroffenen Vorsorge gegen Schäden.

Die konkretisierten Schutzmaßnahmen und Anforderungen sind primär abgeleitet unter den Gesichtspunkten des bestimmungsgemäßen Stilllegungsbetriebes. Diese sind nicht immer exakt abzugrenzen von den Aspekten der Störfallanalyse. Es kann daher zu Überschneidungen bei der Darstellung des Schutzkonzeptes kommen. Daraus resultieren jedoch keine neuen oder anderen Anforderungen.

3 UMSETZUNG DER SCHUTZZIELE

Die allgemeinen Schutzziele im vorangegangenen Kapitel lassen sich ohne weitere Konkretisierung in der Praxis nicht umsetzen. Daher wurden für die zwei unter Strahlenschutzgesichtspunkten vorrangig auslegungs- und betriebsrelevanten Aktivitäten während der Stilllegung im Einzelnen spezifiziert, welche Anforderungen im Detail zu erfüllen sind. Es handelt sich dabei einerseits um die Verfüllplanung, mit der unter anderem der Schutz vor dem potenziellen Auftreten kontaminierter Überschusslösungen gewährleistet werden soll. Andererseits werden Anforderungen an die Bewetterung spezifiziert. Damit wird im Hinblick auf die Ableitung radioaktiver Stoffe über den Fortluftpfad/Abwetterpfad der erforderliche Strahlenschutz des Personals und der Umgebung gewährleistet.

3.1 Anforderungen an die Verfüllplanung

Zur Verfüllung von Resthohlräumen einschließlich einzelner Einlagerungsgrubenbaue wird Salzbeton eingesetzt. Während der Verfüllung und beim Abbinden des Salzbetons werden Überschusslösungen freigesetzt. Diese wässrigen Lösungen können durch die Schweben oder aus benachbarten Grubenbauen in Einlagerungsgrubenbaue sickern.

Das Durchsickern von Überschusslösungen in die Einlagerungsgrubenbaue oder das Einbringen von Salzbeton in die Einlagerungsgrubenbaue führt zum Kontakt der Überschusslösungen mit den Abfällen. Da das Auftreten einer flüssigen Phase in den Einlagerungsgrubenbauen hierbei nicht ausgeschlossen werden kann, wird davon ausgegangen, dass Auslaugung von in den Abfällen enthaltenen Radionukliden auftritt. Die dabei erzeugte kontaminierte Salzlösung kann auf nicht kontrollierte Weise seitwärts in Strecken und Grubenbaue oder soweit vorhanden in Unterwerksbaue sickern.

Zur Vermeidung radiologischer Auswirkungen werden die im vorangegangenen Abschnitt abgeleiteten Schutzziele hinsichtlich der Verfüllplanung und des Auftretens von Überschusslösungen folgendermaßen konkretisiert:

- *Ein Zulauf potenziell kontaminierter Überschusslösungen (d. h. Überschusslösungen aus dem Salzbeton, die infolge eines nicht auszuschließenden Kontaktes mit radioaktiven Abfällen kontaminiert werden) bei der Verfüllung der Einlagerungsgrubenbaue in die begehbaren Grubenbaue wird verhindert.*
  Die erforderliche Schadensvorsorge erfolgt durch angepasste Verfüllreihenfolge, Abdichtungen und lösungsdichte Verschlüsse von Grubenbauen. Hiermit werden unnötige Strahlenexpositionen des Personals und Kontaminationsverschleppungen vermieden.

- *Ein Zulauf der Überschusslösungen zu metallischen Abfällen (radioaktiven und sonstigen) in den Einlagerungsgrubenbauen wird so weit wie möglich verhindert bis zum Zeit-*

punkt der Verfüllung oder des allseitigen Verschließens durch technische Barrieren aus Salzbeton oder anderen geeigneten Materialien.
Die erforderliche Schadensvorsorge erfolgt durch lösungsdichte Verschlüsse (zum betreffenden Grubenbau hin), die einen Zulauf so weit wie möglich unterbinden oder ersatzweise durch die Verwendung von trockenem Verfüllstoff (z. B. Braunkohlenfilterasche [BFA]) oder Nichtverfüllung.
Aus einem Kontakt der Überschusslösungen mit metallischen Abfällen können eine erhöhte Wasserstoffbildungsrate mit dem Potenzial zur Bildung radioaktiver und eventuell zündfähiger Gasgemische in unverfüllten Resthohlräumen (sofern vorhanden) und deren Freisetzung oder Deflagration resultieren. Durch die Verhinderung des Zulaufs wird der Prozess unterbunden, so dass eine Freisetzung oder Deflagration nicht zu besorgen ist, bevor Resthohlräume verfüllt sind oder die Wirksamkeit allseitig vorgelagerter Barrieren aus Salzbeton oder anderen geeigneten Materialien gewährleistet ist.

- *Ein Anbohren der radioaktiven Abfälle oder sonstiger radioaktiver oder potenziell kontaminierter Stoffe oder ihre Beaufschlagung infolge eines durch Bohrarbeiten hervorgerufenen Löserfalls werden vermieden.*
  Die erforderliche Schadensvorsorge erfolgt durch Vermeidung von Bohrarbeiten oberhalb oder in der Nähe von unüberdeckten radioaktiven Abfällen und sonstigen radioaktiven oder potenziell kontaminierten Stoffen oder (sofern unvermeidbar) durch zielgenaues Bohren. Damit werden unnötige Strahlenexpositionen des Personals und eine Freisetzung eingeschlossener radioaktiver Stoffe vermieden.

- *Eine Freisetzung radioaktiver Stoffe infolge einer Beaufschlagung unüberdeckter radioaktiver Abfälle oder sonstiger radioaktiver oder potenziell kontaminierter Stoffe durch einen Löserfall infolge der Verfüllmaßnahmen werden vermieden.*
  Die erhöhte Luftfeuchte infolge der Verfüllmaßnahmen und das dadurch auftretende Kondenswasser sowie ein ggf. nicht auszuschließender Zulauf von Überschusslösungen begünstigen die Ablösung von Schalen durch Umlösevorgänge. Die gebirgsmechanische Standsicherheit kann beeinträchtigt werden. Eine mechanische Beaufschlagung, z. B. durch Löserfall ist zu besorgen. Die erforderliche Schadensvorsorge erfolgt durch Firstsicherung und kurzfristige Verfüllung oder allseitigen Verschluss der betreffenden Grubenbaue durch Barrieren aus Salzbeton oder anderen geeigneten Materialien.

3.2 Anforderungen an die Bewetterung

Zur Umsetzung der allgemeinen Schutzziele in Kapitel 2 in konkrete Maßnahmen bei der Auslegung und im bestimmungsgemäßen Stilllegungsbetrieb wurden an die Bewetterung folgende Anforderungen formuliert:

- *Anomale Bewetterungszustände (i. W. auslegungsunterschreitende Außentemperaturen, Lüfterausfall, Ausfall einschließlich des selbsttätigen Verschließens von Wetter- und Brandschutztoren infolge eines Stromausfalls oder technischen Defekts) werden in der Sicherheitsanalyse des bestimmungsgemäßen Betriebes berücksichtigt (siehe Kapitel 7).*
  Die Berücksichtigung erfolgt beim derzeitigen Konkretisierungsgrad der Planung durch eine nachvollziehbare Darstellung der betreffenden Komponenten, ihrer Aufstellungsorte, ihrer Funktion im Bewetterungssystem und ihrer für anomale Bewetterungszustände relevanten Auslegungsmerkmale /DBE 05/.

Bei einem Wegfall der Bewetterung oder einer Unterschreitung der für den Normalbetrieb garantierten minimalen Wettermenge kann es zur Akkumulation flüchtiger radioaktiver Stoffe kommen. Der erhöhten Strahlenexposition des Personals wird durch Maßnahmen des betrieblichen Strahlenschutzes vorgebeugt. Ausgehend von den Planungen und den darin dargestellten Sachverhalten werden die radiologischen Folgen in der Sicherheitsanalyse modelliert, die erforderlichen sicherheitstechnischem Vorsorgemaßnahmen abgeleitet und der Nachweis erbracht, dass die erforderliche Schadensvorsorge getroffen wurde.

- *Eine unkontrollierte (d. h. nicht beabsichtigte) Absaugung von eingeschlossenen flüchtigen radioaktiven Stoffe wird vermieden*.
  Die erforderliche Schadensvorsorge erfolgt durch eine solche Auslegung der Bewetterung, dass im Falle abwetterseitig aufgestellter Ventilatoren (Lüfter) eine hinreichende Frischwetterzufuhr eingestellt wird, um einen solchen Unterdruck zu vermeiden, der zu einer unkontrollierten Absaugung der eingeschlossenen flüchtigen radioaktiven Stoffe führen würde.
  Damit sowie durch Maßnahmen des betrieblichen Strahlenschutzes werden eine unnötige Strahlenexposition des Personals und die Freisetzung flüchtiger radioaktiver Stoffe vermieden. Eine nicht beabsichtigte absaugende Bewetterung des Westfeldes hat in den Jahren 1995/96 zu einer Erhöhung der Tritiumableitungen geführt. Eine entsprechende Vorsorge gegen Wiederholung ist daher getroffen.

- *Bei einer Unterbrechung der durchgehenden Bewetterung infolge der Verfüllmaßnahmen müssen sicherheitstechnische Vorsorgemaßnahmen getroffen werden, sofern der betreffende Grubenbau nicht selbst kurzfristig verfüllt oder allseitig durch Barrieren aus Salzbeton oder anderen geeigneten Materialien verschlossen wird.*
  Die erforderliche Schadensvorsorge erfolgt durch Sonderbewetterung des betreffenden Grubenbaus oder Überwachung und Kontrolle der flüchtigen radioaktiven Stoffe und zündfähigen Gase.
  Bei einem Wegfall der Bewetterung kann es zur Akkumulation flüchtiger radioaktiver Stoffe kommen. Der erhöhten Strahlenexposition des Personals wird durch Maßnahmen des betrieblichen Strahlenschutzes vorgebeugt.

- *Eine Nachnutzung der Abwetter aus Einlagerungsgrubenbauen bzw. -bereichen zur Bewetterung von nachgelagerten Grubenbauen wird nach Möglichkeit vermieden, sofern sie nicht in Abwägung gegenüber anderen Schutzzielen und Randbedingungen als sinnvoll bewertet wird*.
  Die erforderliche Schadensvorsorge erfolgt durch Vermeidung einer Nachnutzung bzw. durch eine nachvollziehbare Darstellung der unvermeidbaren oder sinnvollen Nachnutzung sowie der betreffenden radiologischen Schutzziele und konventionellen Randbedingungen, die diese Nachnutzung rechtfertigen.
  Unzulässige Strahlenexposition des Personals durch eine Nachnutzung von kontaminierten oder potenziell kontaminierten Abwettern wird vermieden. Anhand einer nachvollziehbaren Darstellung der Nachnutzung sowie der betreffenden radiologischen Schutzziele und konventionellen Randbedingungen wird die Einhaltung der einschlägigen Grenzwerte nachgewiesen.

3.3 Sonstige Anforderungen

- *Eine Beaufschlagung der radioaktiven Abfälle oder sonstiger radioaktiver oder potenziell kontaminierter Stoffe durch Arbeiten im Kontrollbereich (z. B. zur Instandhaltung, Änderung, Entsorgung und Abbau der Bewetterungsanlagen) oder ihre indirekte Beaufschlagung infolge eines durch Arbeiten hervorgerufenen Löserfalls werden vermieden.*
  Die erforderliche Schadensvorsorge erfolgt durch Vermeidung von Arbeiten oberhalb oder in der Nähe von unüberdeckten radioaktiven Abfällen und sonstigen radioaktiven oder potenziell kontaminierten Stoffen oder (sofern unvermeidbar) durch adäquate sicherheitstechnische Vorsorgemaßnahmen bei ihrer Durchführung.
  Unnötige Strahlenexposition des Personals und Freisetzung eingeschlossener radioaktiver Stoffe werden vermieden.

- *Eine unzulässige Akkumulation flüchtiger radioaktiver Stoffe in den Wettern abgeschlossener Grubenbaue wird vermieden.*
  Die erforderliche Schadensvorsorge erfolgt durch
  - Hohlraumreduzierung durch Versatzmaterial
  - Bewetterung von unversetzten bzw. nicht vollständig versetzten Grubenbauen
  - Eigenschaften des Abfallproduktes
  - Überwachung der Atmosphäre der Einlagerungsgrubenbaue zur rechtzeitigen Ergreifung von Gegenmaßnahmen (z. B. durch kontrollierte Entwetterung)

  In abgeschlossenen Einlagerungsgrubenbauen und ihren ggf. abgeschlossenen Randbereichen kann die in dieser Sicherheitsanalyse unterstellte kontinuierliche Freisetzung flüchtiger radioaktiver Stoffe zu einer Akkumulation dieser Stoffe in den Wettern ihrer unversetzten Resthohlräume (sofern vorhanden) führen. Die Akkumulation erfolgt solange, bis ein Gleichgewicht erreicht ist zwischen der Freisetzung flüchtiger radioaktiver Stoffe aus den Abfällen in die Hohlraumatmosphäre und dem Verlust an Aktivität durch Leckagen der Abschlüsse.

  Solche Situationen sind denkbar für die abgemauerten, unversetzten Einlagerungsgrubenbaue im Nordfeld und den abgemauerten, unversetzten Bremsberg im Westfeld (Strecke aus den Abbauen 3 und 4 auf der 4. Sohle zu den Grubenbauen auf der 3. Sohle).

  Beispielhafte Modellrechnungen haben gezeigt /LOR 00/, dass die mögliche Konzentrationserhöhung selbst bei kurzfristiger Freisetzung in bewetterte Bereiche zu keinen nennenswerten zusätzlichen Strahlenexpositionen des Personals oder in der Umgebung führt. Verglichen mit den genehmigten jährlichen Ableitungen mit den Abwettern für Tritium und C-14 beträgt die zu erwartende kurzfristige Erhöhung dieser Ableitungen etwa 1 %. Im Übrigen wird die unterstellte kurzfristige Freisetzung auch als Ereignis in der Störfallanalyse betrachtet /IST 06/.

- Leckagen und sonstige Freisetzungen aus den Lager- und Konditionierungseinrichtungen für flüssige radioaktive Abfälle im Südfeld werden vermieden.
  Die erforderliche Schadensvorsorge erfolgt indem

ERA Morsleben

- die EDR-Tanks, Pumpen und Armaturen über beschichtete Bodenwannen mit Pumpensumpf zum Auffangen von Flüssigkeiten verfügen,
- die Konditionierungsanlage mit einer Abtropfschale zum Auffangen von Flüssigkeiten und einer Abdichtglocke zur Ableitung von Aerosolen und flüchtigen Stoffen ausgerüstet ist,
- die konditionierten Fässer vor dem Transport aus dem Abfüllraum zum Aushärteplatz im Dekontaminationsraum verdeckelt werden und der Deckel mit einem Schnellspannverschluss befestigt wird (Nach dem Transport werden die Fässer zum Aushärten wieder abgedeckt).

Damit werden unnötige Strahlenexpositionen des Personals und eine Freisetzung radioaktiver Stoffe vermieden. Eine Ableitung radioaktiver Stoffe über den Abwasserpfad findet nicht statt.

- Eine Freisetzung flüchtiger radioaktiver Stoffe (i. W. des Folgeprodukts Rn-222) aus dem Radiumfass (Radium-VBA) wird vermieden.
  Die erforderliche Schadensvorsorge erfolgt durch die adsorbierende Wirkung der Aktivkohle im Abfallprodukt und Verschließen des Sohlenlochs mit einem abdichtenden Betondeckel (Das Radiumfass befindet sich in einer Kammer am Ostquerschlag 4. Sohle in einem mit Beton ausgekleideten Sohlenloch, das durch einen Betondeckel mit Gummidichtung verschlossen ist). Eine Strahlenexpositionen des Personals und eine Freisetzung radioaktiver Stoffe werden damit ausgeschlossen /KUN 00/.

4 BESCHREIBUNG DE R ANLAGE EINSCHLIEßLICH DER GET ROFFENEN SCHUTZMAßNAHMEN

Im Folgenden wird der Soll-Zustand des ERAM zum Beginn der Umrüstphase im Hinblick auf den bestimmungsgemäßen Betrieb beschrieben. Zuerst wird die allgemeine Ausgangssituation für die Stilllegung geschildert. Anschließend erfolgt die Gliederung nach den Einlagerungsbereichen. Alle Angaben zu Inventaren radioaktiver Stoffe beziehen sich auf den 30.06.2005.

4.1 Ausgangssituation für die Stilllegung

Das bestehende Endlager mit den vorhandenen Bauwerken und technischen Einrichtungen nach Ausnutzung der Genehmigung zur Offenhaltung stellt die Ausgangssituation dar. Alle Einrichtungen entsprechen dem für den Offenhaltungsbetrieb geforderten Sicherheitsstandard.

Die übertägigen Anlagen sind im Zusammenhang mit der vorausgegangenen Nutzung der Schachtanlagen entstanden und entsprechen den Erfordernissen des Offenhaltungsbetriebes. Von den übertägigen Anlagen ist unter Gesichtspunkten des bestimmungsgemäßen Betriebes nur der Laborcontainer zur Umgebungsüberwachung relevant. Dort werden geringe Mengen radioaktiver Stoffe gehandhabt. Das im Laborcontainer vorhandene Inventar an radioaktiven Stoffen beträgt ≤ 100 × Freigrenze bezogen auf Anl. III Tab. 1 Spalte 2 StrlSchV.

Im Grubenfeld Bartensleben liegen die Einlagerungsbereiche für die radioaktiven Abfälle. Während des Einlagerungsbetriebes diente Schacht Bartensleben zum Transport der radioaktiven Abfälle nach untertage sowie als Wetterweg und zur Ver- und Entsorgung des ERAM. Die konventionellen Funktionen wurden nach dem Einstellen des Einlagerungsbetriebes beibehalten. Schacht Marie diente und dient bis zum Verfüllen der Verbindungsstrecken als Flucht- und Wetterweg für das ERAM und hat Ver- und Entsorgungsfunktionen für das Grubenfeld Marie.

Die Versorgung der Grubengebäude mit Frischwettern erfolgt über Schacht Bartensleben /DBE 05/. Die Wetter werden mit Hilfe von Ventilatoren und Wetterleiteinrichtungen entsprechend dem Bedarf in den Grubengebäuden verteilt. Ein Teil der Abwetter zieht im Schacht Bartensleben luttengeführt über einen Abwetterschlot aus. Die restlichen Wetter ziehen über die Verbindungsstrecken in das Grubenfeld Marie und danach über einen Abwetterschlot am Schacht Marie aus, der Teil eines neuen Abwetterbauwerks ist.

Im Grubenfeld Bartensleben befinden sich 4 Hauptsohlen mit einem vertikalen Abstand von ca. 40 m untereinander. Grubenbaue unterschiedlicher Sohlen sind durch zahlreiche Gesenke und Rolllöcher miteinander verbunden. Die Einlagerungsgrubenbaue befinden sich auf der 4. Sohle (in einer Tiefe von -372 mNN), unterhalb der 4a-Sohle (-346 mNN) und im Bereich der 5a-Sohle (-395 mNN), siehe Bild 4-1. Die sog. Einlagerungsbereiche umfassen räumlich zusammenhängende Einlagerungsgrubenbaue und Funktionsräume. Die Einlagerungsbereiche werden nach den Feldesteilen bezeichnet. Im Feldesteil Nordfeld befinden sich auf der 4. Sohle zwei Einlagerungsgrubenbaue. Der Einlagerungsbereich Zentralteil umfasst im Wesentlichen die Abbaue 1a nördlich und 1a südlich unterhalb der 4a-Sohle. Das Untertagemessfeld (UMF) wird in dieser Unterlage als eigenständiger Einlagerungsbereich betrachtet. Im Feldesteil Südostfeld befindet sich kein Einlagerungsbereich. Die Einlagerungsbereiche werden in den folgenden Kapiteln beschrieben.

Zur langzeitsicheren Abdichtung der eingelagerten radioaktiven Abfälle gegen die Biosphäre wurde ein Konzept mit weitgehender Verfüllung der Grubenbaue und Strecken und mit technischen Barrieren für die Abdichtung der Einlagerungsbereiche West-Süd-Feld und Ostfeld sowie der Schächte Bartensleben und Marie entwickelt. Die Abdichtung der Einlagerungsgrubenbaue im Nordfeld, Zentralteil und UMF ist für die Langzeitsicherheit nicht erforderlich. Neben den Abdichtungen sind hohlraumreduzierende und stabilisierende Maßnahmen sowie eine weitgehende Verfüllung der Kalilager vorgesehen. Ferner werden die Einlagerungsgrubenbaue sowie die radiologisch relevanten Funktionsräume durch technische Barrieren allseitig verschlossen, um radiologische Auswirkungen noch während des Stilllegungsbetriebes auszuschließen.

Als Versatzmaterial wird Salzbeton eingesetzt /DBE 05b/. Er wird mittels Rohrleitungen direkt oder über Verfüllbohrungen in die Grubenbaue unter Tage gepumpt. Die Verfüllung findet abschnittweise statt. Der Zeitraum richtet sich nach den technischen Gegebenheiten des Verfüllprozesses /DBE 05b/. Die für die Verfüllung nicht genutzten Zugänge werden verschlossen, um ein Auslaufen des Salzbetons zu vermeiden. Der Salzbeton ist so fließfähig, dass sich nahezu horizontale Lagen ausbilden, bevor er abbindet. Die o. g. technischen Barrieren werden u. a. aus Salzbeton erstellt.

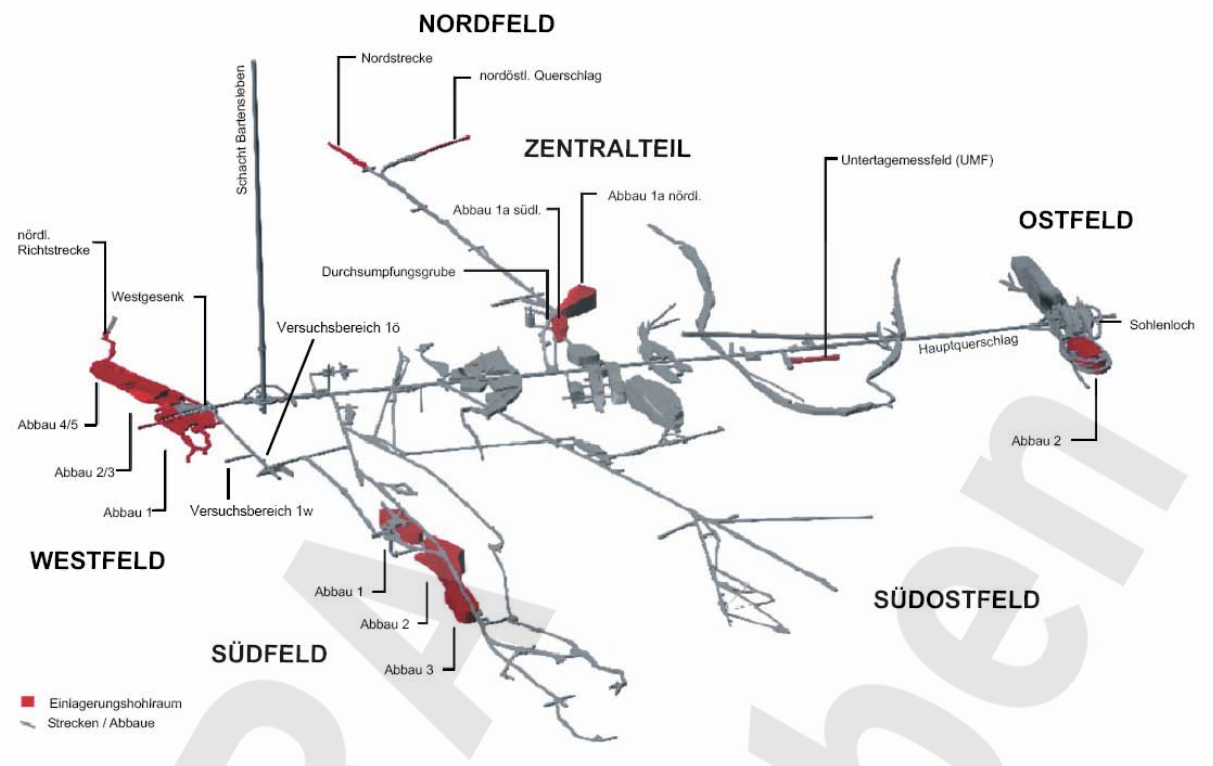

Bild 4-1 Einlagerungsgrubenbaue des ERAM

Da ein Zutritt von Überschusslösungen aus dem Versatzmaterial Salzbeton zu den Abfällen nicht ausgeschlossen werden kann, erfolgt die Verfüllung des Grubengebäudes im Wesentlichen feldesweise von unten nach oben und von außen nach innen. Vor der Verfüllung der Einlagerungsgrubenbaue, ihrer Randbereiche und der Funktionsräume werden die Zugangsstrecken durch Barrieren aus Salzbeton oder anderen geeigneten Materialien derart verschlossen (z. B. durch die sog. temporären Abdichtungen), dass eventuell kontaminierte Überschusslösungen in den Einlagerungsbereichen verbleiben bzw. während des Stilllegungsbetriebes nicht in das begehbare Grubengebäude gelangen können.

4.2 Nordfeld

4.2.1 Vor-Ort-Ge gebenheiten

Im Einlagerungsbereich Nordfeld lagern auf der 4. Sohle in einer Tiefe von -372 mNN radioaktive Abfälle

- im Einlagerungsgrubenbau (17YER21 R020) im Streckentiefsten der Nordstrecke und
- im Einlagerungsgrubenbau (17YEQ21 R003) im nordöstlichen Querschlag zur Nordstrecke.

Ferner ist der folgende, an die Einlagerungsgrubenbaue angrenzende leere Bereich relevant:

- Randbereich außerhalb der o. g. abgeschlossenen Einlagerungsgrubenbaue nördlich der temporären Abdichtung.

Das Nordfeld ist 1 096 m vom Schacht Bartensleben (00YES01) entfernt (gemessen von der Abschlussmauer des Einlagerungsgrubenbaus im Streckentiefsten der Nordstrecke über die Nordstrecke (17YER21 R001) und den Ostquerschlag (17YEQ01 R001)).

4.2.2 Inventar an radioaktiven Stoffen

Das vor Beginn der Einlagerung freie Hohlraumvolumen der beiden Einlagerungsgrubenbaue betrug zusammen ca. 2 660 m^3. Dort sind 1 701 m^3 niedrigradioaktive Abfälle eingelagert. Bei diesen Abfällen handelt es sich um in 200-l-Fässer verpackte feste Abfälle, Filter und sperrige Abfälle aus dem Betrieb der Kernkraftwerke und von Kleinverursachern. Die Abfälle sind etwa zu gleichen Teilen auf die Einlagerungsgrubenbaue des Streckentiefsten der Nordstrecke (818 m^3) und des nordöstlichen Querschlags (883 m^3) verteilt. Beide Einlagerungsgrubenbaue wurden mit Mauern abgeschlossen. Die Einlagerung erfolgte bis 1981. Das Gesamtinventar der eingelagerten radioaktiven Abfälle beträgt ca. $1{,}9 \times 10^{12}$ Bq.

Der Randbereich ist leer. Dort befinden sich keine Abfälle.

4.2.3 Überdeckung der Abfälle zum Beginn der Umrüstphase

Die in den Einlagerungsgrubenbauen eingelagerten Abfälle sind nicht versetzt.

4.2.4 Abschlüsse zum Beginn der Umrüstphase

Beide Einlagerungsgrubenbaue sind durch Abschlussmauern vom Randbereich abgetrennt. Die Abschlussmauern sind mit Latex-Anstrich versiegelt. Der Einlagerungsgrubenbau des Streckentiefsten der Nordstrecke ist über ein Wetterrollloch mit der 3. Sohle verbunden. Dieses ist mit Tonmehl und Beton abgedichtet. Der Einlagerungsgrubenbau im nordöstlichen Querschlag ist durch Mauern in 3 Kammern unterteilt. Der Randbereich ist außer durch ein verschließbares Gitter im nordöstlichen Querschlag nicht abgeschlossen.

4.2.5 Verfüllkonzept

Die Einlagerungsgrubenbaue werden nicht verfüllt. Der Randbereich wird durch eine temporäre Abdichtung von der restlichen Nordstrecke abgetrennt (südlich des Streckenabzweigs Nordstrecke/nordöstlicher Querschlag) und anschließend verfüllt. Der Latex-Anstrich der Abschlussmauern begrenzt den Zulauf der Überschusslösungen zu den Einlagerungsgrubenbauen. Unmittelbar daran schließt sich die Verfüllung der unmittelbar darüber liegenden Grubenbaue mindestens bis zum Niveau –346 mNN an (die weitere Verfüllung erfolgt später), um einen allseitigen Verschluss der Einlagerungsgrubenbaue durch Barrieren aus Salzbeton oder anderen geeigneten Materialien zu gewährleisten. Etwa zeitgleich wird die Nordstrecke bis zum Wetterrollloch 12YER22 RL001 verfüllt. Das Nordfeld wird dadurch vom Zentralteil abgetrennt. Der Salzbeton wird über Verfüllleitungen aus anderen zugänglichen Grubenbauen oder entlang des jeweiligen Grubenbaus von der Firste aus eingebracht /DBE 05b/. Es sind keine Bohrungen erforderlich.

4.2.6 Bew etterung

Die abgeschlossenen Einlagerungsgrubenbaue werden nicht bewettert. Die z. T. aus Hohlziegelsteinen errichteten Abschlussmauern sind nicht gasdicht. Verursacht durch Druckschwankungen der Grubenwetter findet ein Gasaustausch zwischen den Grubenwettern und den Wettern der abgeschlossenen Einlagerungsgrubenbaue statt. Der Randbereich wird bewettert /DBE 05/. Diese Wetter werden über den Abwetterschlot am Schacht Marie abgeleitet.

4.3 Zentralteil

4.3.1 Vor-Ort-Ge gebenheiten

Im Einlagerungsbereich Zentralteil lagern unterhalb der 4a-Sohle radioaktive Abfälle

- im Abbau 1a nördlich (16YEA21 R003) und
- im Abbau 1a südlich (16YEA21 R004)

sowie auf der 4. Sohle

- in der Durchsumpfungsgrube (17YER21 R005) an der Nordstrecke (verfestigte radioaktive Flüssigabfälle).

Ferner lagern unterhalb der 4a-Sohle radioaktive und potenziell kontaminierte Eigenabfälle

- in der Überfahrung der Kaverne (16YEA21 R005) und
- im Abbau 1a nördlich (16YEA21 R003), oberhalb der Versatzschicht.

Der Zentralteil ist 543 m vom Schacht Bartensleben (00YES01) entfernt (gemessen von der Durchsumpfungsgrube über die Nordstrecke (17YER21 R001) und den Ostquerschlag (17YEQ01 R001)).

4.3.2 Inventar an radioaktiven Stoffen

Das vor Beginn der Einlagerung freie Hohlraumvolumen der Abbaue 1as und 1an betrug zusammen ca. 80 880 m^3. Dort wurden insgesamt 133 m^3 niedrigradioaktive feste Abfälle eingelagert. Es handelt sich um sperrige Abfälle, z. B. Filter, sowie um Strahlerköpfe mit Co-60-Strahlenquellen. Die Abfälle wurden von 1983 bis 1990 eingelagert und mit Salzgrus überdeckt. Das Gesamtinventar der eingelagerten Abfälle beträgt ca. $3{,}1\times10^{12}$ Bq.

Das vor Beginn der Einlagerung freie Hohlraumvolumen der Durchsumpfungsgrube betrug ca. 360 m^3. Dort lagern 24 m^3 mit Braunkohlenfilterasche (150 m^3) verfestigte flüssige radioaktive Abfälle. Der Einlagerungsgrubenbau wurde mit einer Mauer abgeschlossen. Die Einlagerung erfolgte 1984. Die flüssigen Abfälle stammen aus dem Betrieb von Kernkraftwerken. Das Gesamtinventar der eingelagerten Abfälle beträgt ca. $6{,}7\times10^{10}$ Bq.

Ferner wurden im unversetzten Resthohlraum des Abbaus 1an (oberhalb der Versatzschicht) sowie in der angrenzenden Überfahrung der Kaverne radioaktive und potenziell kontaminier-

ERA Morsleben

te Eigenabfälle eingelagert. Es handelt sich um Einlagerungsausrüstungen. Ihre Masse beträgt ca. 8,3 Mg. Den Hauptmassenanteil der eingelagerten Materialien stellen Metalle dar.

4.3.3 Überdeckung der Abfälle zum Beginn der Umrüstphase

Die in den Abbauen 1as und 1an eingelagerten Abfälle sind mit Salzgrus versetzt und mit einer Salzgrusschicht von > 5 m überdeckt. Die in der Durchsumpfungsgrube mit Braunkohlenfilterasche verfestigten Flüssigabfälle sind zu ca. 90 % versetzt. Die unterhalb der 4a-Sohle eingelagerten Eigenabfälle sind nicht versetzt. Sie liegen auf der Versatzschicht.

4.3.4 Abschlüsse zum Beginn der Umrüstphase

Die Einlagerungsgrubenbaue unterhalb der 4a-Sohle sind nicht abgeschlossen. Die Durchsumpfungsgrube ist durch eine Abschlussmauer von der freien Strecke abgetrennt.

4.3.5 Verfüllkonzept

Die Durchsumpfungsgrube wird nicht verfüllt. Sie wird durch die Verfüllung des angrenzenden Streckenabschnitts der Nordstrecke durch eine Barriere aus Salzbeton verschlossen. Vor der Verfüllung der Einlagerungsgrubenbaue unterhalb der 4a-Sohle werden die angrenzenden Grubenbaue und Strecken der 4. Sohle und unterhalb der 4a-Sohle verfüllt. Mit der anschließenden Verfüllung der Einlagerungsgrubenbaue selbst ist dann ein allseitiger Verschluss durch Barrieren aus Salzbeton gewährleistet. Der Salzbeton wird durch Bohrungen oder Verfüllleitungen aus anderen zugänglichen Grubenbauen oder über Verfüllleitungen entlang des jeweiligen Grubenbaus von der Firste aus eingebracht /DBE 05b/. Die Bohrungen werden vor dem Beginn der Verfüllmaßnahmen im Einlagerungsbereich erstellt.

4.3.6 Bew etterung

Die Einlagerungsgrubenbaue unterhalb der 4a-Sohle werden bewettert /DBE 05/. Diese Wetter werden über den Abwetterschlot am Schacht Marie abgeleitet. Die Durchsumpfungsgrube wird nicht bewettert. Sie ist ein abgeschlossener Querschlag der bewetterten Nordstrecke. Die Wetter aus der Nordstrecke werden über den Abwetterschlot am Schacht Marie abgeleitet.

4.4 Westfeld

4.4.1 Vor-Ort-Ge gebenheiten

Im Einlagerungsbereich Westfeld lagern auf der 4. Sohle in einer Tiefe von -372 mNN radioaktive Abfälle

- im Westfeld 1
  - nördliche Richtstrecke (17YER11 R001),
  - Abbau 4 (17YER11 R002),

ERA Morsleben

- Abbau 5 (17YER11 R003),

- im Westfeld 2
  - Abbau 2 (17YER11 R006),
  - Abbau 3 (17YER11 R007),
  - Abbau 1 südlich (17YER12 R004) und den dort anschließenden Strecken nach Süden (17YER12 R005 und 17YER12 R006) einschließlich ihrer Verbindung (17YER12 R007),
  - Abbau 1 nördlich (17YER11 R008),
  - Westquerschlag (17YEQ02 R002),

sowie in einer Tiefe von -396 bis -372 mNN (einschl. der Überdeckung mit Salzgrus)

- im Westgesenk B (15YES08).

Ferner lagern dort auf der 4. Sohle in einer Tiefe von -372 mNN radioaktive und potenziell kontaminierte Eigenabfälle

- im noch nicht abgeschlossenen Teil des Westfelds 2.

Dieser wird als Lagerort für Eigenabfälle bezeichnet. Eingelagert wird abschnittsweise bis einschließlich im Stilllegungsbetrieb. Zum Beginn der Umrüstphase werden Abschnitte des Lagerorts ggf. bereits abgeschlossen sein. Abdeckend wird in der Sicherheitsanalyse davon ausgegangen, dass diese noch nicht abgeschlossen sind.

Darüber hinaus ist der folgende, an die Einlagerungsgrubenbaue angrenzende leere Grubenbau relevant:

- Bremsberg (17YER11 R005) aus den Abbauen 3 und 4 auf der 4. Sohle (-372 mNN-Sohle) zu den Grubenbauen auf der 3. Sohle (-332 mNN-Sohle).

Das Westfeld ist 80 m vom Schacht Bartensleben (00YES01) entfernt (gemessen vom Westgesenk B über den Westquerschlag (17YEQ02 R001)).

4.4.2 Inventar an radioaktiven Stoffen

Das vor Beginn der Einlagerung freie Hohlraumvolumen des Westfelds 1 betrug ca. 13 550 m^3. Dort wurden von 1981 bis 1996 insgesamt 6 249 m^3 niedrigradioaktive Abfälle eingelagert. Die Einlagerung erfolgte teilweise in zwei Ebenen. Die Abfälle der ersten Ebene wurden vollständig mit Salzgrus überdeckt. Die in der zweiten Ebene eingelagerten Abfallgebinde wurden mit 4 082 m^3 Braunkohlenfilterasche versetzt. Die einzelnen Einlagerungsabschnitte sind durch Mauern abgeschlossen. Die in diesen Bereichen des Westfeldes eingelagerten niedrigradioaktiven Abfälle wurden gestapelt. Die Abfälle sind in 200-l-, 280-l- und 400-l-Fässern verpackt. Weiterhin sind Abfälle in Sonderverpackungen gestapelt, denen keine qualifizierte Rückhaltefunktion zukommt. Das Gesamtinventar der eingelagerten Abfälle beträgt ca. $1{,}4\times10^{13}$ Bq. Es sind hier Abfälle mit sehr unterschiedlichen Inhaltsstoffen eingelagert. Dabei überwiegen Fässer mit silikatischen Anteilen (wie zementierte Abfälle) und Bauschutt sowie Stahl, der hauptsächlich von den Abfallfässern selbst herrührt.

Das Westgesenk B des Westfeldes besaß vor Beginn der Einlagerung ein freies Hohlraumvolumen unterhalb der 4. Sohle von ca. 420 m^3. In den Jahren 1974 und 1975 wurden dort

61 m^3 niedrigradioaktive Abfälle eingelagert. Es handelt sich bei diesen Abfällen um in Kunststoffsäcke verpacktes Isoliermaterial aus einem Kernkraftwerk. Die Abfälle wurden mit 189 m^3 Salzgrus versetzt. Das Gesamtinventar der eingelagerten Abfälle beträgt ca. $5{,}4\times10^9$ Bq.

Das Westfeld 2 wies vor Beginn der Einlagerung ein freies Hohlraumvolumen von ca. 27 650 m^3 auf. Dort wurden in der Zeit von 1995 bis 1998 insgesamt 12 327 m^3 niedrigradioaktive feste Abfälle in 200-l-, 280-l- und 400-l-Fässern sowie in zylindrischen Betonbehältern gestapelt. Die Abfälle stammen überwiegend aus dem Betrieb von Kernkraftwerken. Bei den Abfällen handelt es sich u. a. um hochdruckverpresste Mischabfälle, zementierte Verdampferkonzentrate, Harze und Filterkonzentrate sowie um Bauschutt. Nach Beendigung der Einlagerung wurden die Abfallgebinde mit 11 714 m^3 Braunkohlenfilterasche versetzt. Die einzelnen Einlagerungsabschnitte sind mit Mauern abgeschlossen. Das Gesamtinventar der eingelagerten Abfälle beträgt ca. $1{,}0\times10^{13}$ Bq. Die Hauptmasse der eingelagerten Materialien stellen Metalle dar, die hauptsächlich von den Abfallfässern herrühren, sowie Bauschutt und silikatische Bestandteile in Mischabfällen.

Ferner sind oder werden (einschließlich im Stilllegungsbetrieb) radioaktive (i. W. zementierte Flüssigabfälle und Bauschutt in 200-l-Fässern) und potenziell kontaminierte Eigenabfälle im Westfeld 2 eingelagert. Ihre Masse beträgt ca. 321 Mg. Den Hauptmassenanteil der eingelagerten Materialien stellen Metalle sowie silikatische Bestandteile, Bauschutt und Mischabfälle dar. Das Gesamtinventar der im Westfeld einzulagernden radioaktiven Eigenabfälle beträgt ca. $2{,}0\times10^9$ Bq. Nach Beendigung der Einlagerung im jeweiligen Abschnitt wird dieser abgemauert und mit Braunkohlenfilterasche versetzt.

Der Bremsberg ist leer. Dort befinden sich keine Abfälle. Nach Beendigung der Einlagerung in den Abbauen 3 und 4 wurde er auf der 3. Sohle abgemauert.

4.4.3 Überdeckung der Abfälle zum Beginn der Umrüstphase

Die in den Einlagerungsgrubenbauen des Westfelds 1 eingelagerten Abfälle sind mit Braunkohlenfilterasche bzw. Salzgrus versetzt. Der Versatz ist nahezu bis zur Firste aufgebracht. Im Westfeld 2 erfolgte der Versatz bis zur Firste mit Braunkohlenfilterasche. Im Westgesenk B sind die eingelagerten Abfälle mit Salzgrus versetzt und mit einer Salzgrusschicht von > 5 m überdeckt. Der Bremsberg ist nicht versetzt. Der Lagerort für Eigenabfälle ist oder wird (einschließlich im Stilllegungsbetrieb) abschnittsweise nach Beendigung der Einlagerung im jeweiligen Abschnitt mit Braunkohlenfilterasche versetzt.

4.4.4 Abschlüsse zum Beginn der Umrüstphase

Die Einlagerungsgrubenbaue des Westfeldes 1 und 2 sind durch Abschlussmauern vom Lagerort für Eigenabfälle abgetrennt. Der Lagerort ist oder wird (einschließlich im Stilllegungsbetrieb) abschnittsweise nach Beendigung der Einlagerung im jeweiligen Abschnitt durch Abschlussmauern von der freien Strecke abgetrennt. Das Westgesenk B ist durch eine Abschlussmauer mit Stahltor von der freien Strecke abgetrennt. Der Bremsberg ist mit Mauern zum Abbau 4 auf der 4. Sohle und zur Richtstrecke nach Norden auf der 3. Sohle sowie mit einer Bühne (Stahlplatte auf Stahlträgern) zum Abbau 3 auf der 4. Sohle abgeschlossen.

4.4.5 Verfüllkonzept

Parallel zur Abtrennung des Westfelds vom Südfeld durch eine Abdichtung in der Richtstrecke nach Süden schließt sich die Verfüllung der Unterwerksbaue an. Danach wird das Westfeld vom restlichen Westquerschlag 4. Sohle durch eine Abdichtung abgetrennt und der nach der Einlagerung noch verbliebene Bereich verfüllt (das Westgesenk B wird dabei nicht mitverfüllt). Anschließend werden die Grubenbaue auf der 3. Sohle verfüllt (abgesehen vom Bremsberg, der nicht verfüllt wird). Ein Großbohrloch zwischen Füllortbereich Westgesenk auf der 3. Sohle und Abbau 1 südlich auf der 1. Sohle wird erstellt und zusammen mit dem Westgesenk B mit Schotter verfüllt. Schließlich wird das Westfeld vom restlichen Westquerschlag 3. Sohle durch eine Abdichtung abgetrennt. Nach Abschluss dieser Verfüllmaßnahmen ist der Einlagerungsbereich Westfeld dann allseitig durch Barrieren aus Salzbeton verschlossen (abgesehen von der mit Schotter verfüllten Wegsamkeit zum Abbau 1 südlich auf der 1. Sohle im Südfeld). Der Salzbeton wird über Verfüllleitungen aus anderen zugänglichen Grubenbauen oder entlang des jeweiligen Grubenbaus von der Firste aus eingebracht /DBE 05b/. Es sind keine Bohrungen erforderlich.

4.4.6 Bew etterung

Die abgeschlossenen und versetzten Einlagerungsgrubenbaue des Westfelds 1 und 2 (einschl. der abgeschlossenen Abschnitte des Lagerorts für Eigenabfälle) werden nicht bewettert. Der Lagerort für Eigenabfälle (sofern nicht abgeschlossen) sowie das Westgesenk B werden bewettert /DBE 05/. Diese Wetter werden über den Abwetterschlot am Schacht Bartensleben abgeleitet. Der Bremsberg wird nicht bewettert. Er ist ein abgeschlossener Querschlag der angrenzenden Richtstrecke nach Norden 3. Sohle, die selbst ein abgeschlossener Querschlag des bewetterten Westquerschlags 3. Sohle ist. Beim Verfüllbetrieb wird die Richtstrecke nach Norden 3. Sohle über den Westquerschlag 3. Sohle bewettert. Die Wetter aus dem Westquerschlag 3. Sohle werden über den Abwetterschlot am Schacht Bartensleben abgeleitet.

4.5 Südfeld

4.5.1 Vor-Ort-Ge gebenheiten

Im Einlagerungsbereich Südfeld lagern im Bereich der 5a-Sohle (-395 mNN) feste radioaktive Abfälle bzw. verfestigte radioaktive Flüssigabfälle

- im Abbau 1 (18YEA32 R002),
- im Abbau 2 (18YEA32 R003) (z. T. verfestigte radioaktive Flüssigabfälle) und
- im Abbau 3 (18YEA32 R004) (verfestigte radioaktive Flüssigabfälle).

Das Südfeld ist 489 m vom Schacht Bartensleben (00YES01) entfernt (gemessen vom Versturzrollloch 5 (17YEA33 RL005) zum Abbau 1 über die Zufahrt (17YEA32 R001) zum Südgesenk B, die Südstrecke (17YER31 R001) und den Ostquerschlag (17YEQ01 R001)).

Ferner lagert auf der 7. Sohle im Südfeld in einer Tiefe von -500 mNN radioaktiv kontaminierte Salzlösung, die zuletzt bei einer Befahrung in 1998 in folgendem Umfang ermittelt wurde:

- am Füllort Südgesenk B (22YEF10) ca. 200 m^3 als offene Lösung,
- in der Richtstrecke Südfeld (22YER31 R001) ca. 100 m^3 als offene Lösung und
- in der Verbindungsstrecke (22YEA32 R001) zwischen dem Füllort Südgesenk B und der Richtstrecke Südfeld (Ausläufer, enthalten in den o. g. Mengen).

Es kann davon ausgegangen werden, dass diese Lösungsreste bis heute im Wesentlichen eingetrocknet sind. Für die folgenden sicherheitsanalytischen Betrachtungen wird abdeckend der 1998 angetroffene Zustand betrachtet.

Der genannte Bereich ist 633 m vom Schacht Bartensleben (00YES01) entfernt (gemessen vom Füllort des Südgesenks B (22YEF10) über das Südgesenk B (17YES10), die Zufahrt (17YEA32 R001) zum Südgesenk B, die Südstrecke (17YER31 R001) und den Ostquerschlag (17YEQ01 R001)).

Im Zusammenhang mit den Einlagerungsgrubenbauen im Bereich der 5a-Sohle und den Grubenbauen der 7. Sohle sind auch die sonstigen, an diese angrenzenden Unterwerksbaue relevant.

Darüber hinaus lagern auf der 4. Sohle im Südfeld in einer Tiefe von -372 mNN verfestigte radioaktive Flüssigabfälle

- im Versuchsbereich zur Durchsumpfung 1 westlich (17YER12 R002) und
- im Versuchsbereich zur Durchsumpfung 1 östlich (17YER12 R003).

Die Versuchsbereiche zur Durchsumpfung 1w und 1ö sind abgeschlossene Querschläge der Richtstrecke nach Süden (17YER12 R001). Sie sind 220 m bzw. 241 m vom Schacht Bartensleben (00YES01) entfernt (gemessen von den Abschlussmauern über die Richtstrecke nach Süden (17YER12 R001) und den Westquerschlag (17YEQ02 R001)). Obwohl sie an das Westfeld angrenzen, werden sie dem Südfeld im Hinblick auf ihr Inventar an radioaktiven Stoffen (Teilinventar des Abbaus 3) und die Bewetterung (Sonderbewetterung Südfeld) zugeordnet.

Im Südfeld werden auf der 4. Sohle in einer Tiefe von -372 mNN die folgenden Funktionsräume betrieben:

- ein EDR-Tanklager (17YEA32 R002),
- eine Konditionierungsanlage im Abfüllraum (17YEA33 R004) mit (ehemaligem) Bedienstand (17YEA33 R005) und Hydraulikraum (17YEA33 R006) der EDR-Umfüllung und
- ein Aushärteplatz für die konditionierten Fässer im Dekontaminationsraum (17YEA33 R003).

Dies sind die Funktionsräume des Lager- und Konditionierungsbereichs für flüssige radioaktive Abfälle. Das EDR-Tanklager ist 495 m, der Abfüllraum und der angrenzende Dekontaminationsraum sind 488 m vom Schacht Bartensleben (00YES01) entfernt (gemessen über die

Zufahrt (17YEA32 R001) zum Südgesenk B, die Südstrecke (17YER31 R001) und den Ostquerschlag (17YEQ01 R001)).

Ferner befinden sich auf der 4. Sohle im Südfeld in einer Tiefe von -372 mNN noch die folgenden Funktionsräume:

- ein Radionuklid-Laborplatz in der Umfahrung (17YEA32 R003) des verfüllten Südgesenks B (17YES10),
- eine Strahlenschutzüberwachungswarte (SSÜ-Warte 17YEA32 R005) und
- ein Kalibrierungsraum (17YER31 R015).

Dies sind Räume des betrieblichen Strahlenschutzes mit Einrichtungen. Zu den Räumen des betrieblichen Strahlenschutzes auf der 4. Sohle gehört auch

- eine Dosimetriewarte am Eingang zum Kontrollbereich am Füllort Bartensleben (17YEF00).

Obwohl sich die Dosimetriewarte außerhalb des Südfeldes befindet, wird sie wegen ihrer Zugehörigkeit zu den Räumen des betrieblichen Strahlenschutzes in diesem Kapitel betrachtet.

Der Radionuklid-Laborplatz und die angrenzende SSÜ-Warte sind 514 m vom Schacht Bartensleben (00YES01) entfernt (gemessen über die Zufahrt (17YEA32 R001) zum Südgesenk B, die Südstrecke (17YER31 R001) und den Ostquerschlag (17YEQ01 R001)). Der Kalibrierungsraum ist 713 m vom Schacht Bartensleben (00YES01) entfernt (gemessen über die Südstrecke (17YER31 R001) und den Ostquerschlag (17YEQ01 R001)). Die Dosimetriewarte befindet sich im Schachtbereich.

Ferner werden einige Strahlenquellen unter Tage außerhalb der Räume des betrieblichen Strahlenschutzes eingesetzt (z. B. dauerhaft im Tropfenzähler im Abbau 1a (09YER21 R003) auf der 1. Sohle und bedarfsweise im Füllstandanzeiger der Dichtstromförderanlage für Braunkohlenfilterasche im noch nicht abgeschlossenen Teil des Abbaus 1s (17YER12 R004) im Westfeld 4. Sohle). Soweit nicht im Einsatz, werden sie im Quellentresor des Kalibrierungsraums aufbewahrt. Obwohl sich die sonstigen Einsatzorte der Strahlenquellen außerhalb des Südfeldes befinden, werden sie wegen des thematischen Zusammenhangs in diesem Kapitel betrachtet.

Darüber hinaus befinden sich im Südfeld auf der 4. Sohle in einer Tiefe von -372 mNN noch die folgenden Funktionsräume:

- die Zentralwerkstatt (17YER31 R003) mit ihrem Materialhandlager (17YEA35 R007) und
- ein Störreservelager (17YEA31 R001).

Die Zentralwerkstatt ist 130 m vom Schacht Bartensleben (00YES01) entfernt (gemessen vom Norddurchhieb (17YER31 R024) über die Südstrecke (17YER31 R001) und den Ostquerschlag (17YEQ01 R001)). Das Störreservelager ist 238 m vom Schacht Bartensleben (00YES01) entfernt (gemessen über die Südstrecke (17YER31 R001) und den Ostquerschlag (17YEQ01 R001)).

4.5.2 Inventar an radioaktiven Stoffen

Einlagerungsgrubenbaue und die 7. Sohle

Das vor Beginn der Einlagerung freie Hohlraumvolumen des Abbaus 1 im Südfeld betrug ca. 17 200 m^3. Dort wurden von 1981 bis 1998 niedrig- und mittelradioaktive feste Abfälle und umschlossene Strahlenquellen verstürzt. Bei den festen Abfällen handelt es sich um in Fässer verpackte sowie um unverpackte Abfälle. Es sind 1 013 m^3 Abfälle sowie 6 617 umschlossene Strahlenquellen eingelagert. Die Abfälle sind mit Braunkohlenfilterasche (1 220 m^3) bzw. Salzgrus überdeckt und der Resthohlraum ist mit Braunkohlenfilterasche (ca. 5 500 m^3) verfüllt. Das Gesamtinventar der eingelagerten Abfälle beträgt ca. $6{,}2\times10^{13}$ Bq. Die Hauptanteile der Abfälle sind getrocknete Verdampferkonzentrate, Metalle sowie zementierte Verdampferkonzentrate, Harze und Filterkonzentrate.

Das vor Beginn der Einlagerung freie Hohlraumvolumen des Abbaus 2 im Südfeld betrug ca. 27 200 m^3. Dort wurden von 1988 bis 1998 niedrig- und mittelradioaktive Abfälle verstürzt. Es handelt sich um in Fässer verpackte feste Abfälle sowie um niedrigradioaktive flüssige Abfälle, die bis 1990 eingebracht und mit etwa 2 400 m^3 Braunkohlenfilterasche verfestigt wurden. Es wurden 1 498 m^3 Abfälle mit einem Gesamtinventar von ca. $7{,}3\times10^{12}$ Bq eingelagert. Die Abfälle sind mit Braunkohlenfilterasche (297 m^3) bzw. Salzgrus überdeckt, der Resthohlraum ist mit Braunkohlenfilterasche (ca. 7 000 m^3) verfüllt.

Das vor Beginn der Einlagerung freie Hohlraumvolumen des Abbaus 3 im Südfeld betrug ca. 27 040 m^3. Dort wurden im Zeitraum von 1978 bis 1988 insgesamt 7 608 m^3 flüssige niedrigradioaktive Abfälle eingelagert. Hierbei handelt es sich im Wesentlichen um Verdampferkonzentrate aus dem Betrieb der Kernkraftwerke. Insgesamt wurden ca. 14 700 m^3 Braunkohlenfilterasche als Bindemittel für die Verfestigung und ca. 1 410 m^3 als Versatz zur Resthohlraumverfüllung eingebracht. Das im Abbau 3 eingelagerte Gesamtinventar beträgt ca. $1{,}9\times10^{13}$ Bq.

Zu Beginn der Verfestigung flüssiger Abfälle im Abbau 3 im Bereich der 5a-Sohle (-395 mNN-Sohle) sind kontaminierte Lösungen in die Unterwerksbaue auf der 7. Sohle (-500 mNN-Sohle) abgeflossen. Durch Eintrocknung hatte sich ihr Volumen bis zur letzten Befahrung in 1998 auf ca. 300 m^3 reduziert. Die Flüssigkeitsansammlungen waren nicht mehr zusammenhängend. Ihr Pegel war ungleichmäßig und betrug maximal 40 cm. Ihre Oberfläche war größtenteils mit einer ungleichmäßig mächtigen Schicht aus auskristallisierten Salzen überdeckt. Das radioaktive Inventar der abgeflossenen Abfälle ist in der Bilanz der radioaktiven Stoffe im Abbau 3 enthalten.

In den sonstigen Unterwerksbauen befinden sich keine radioaktiven Abfälle. Dort lagern nur geringe Mengen an bergbautypischen Eigenabfällen und Stoffen aus dem Gewinnungsbetrieb als Salz- und Kalibergwerk (z. B. Haufwerk, Gleise, Holz).

Die vor Beginn der Einlagerung freien Hohlraumvolumina der Versuchsbereiche zur Durchsumpfung 1w und 1ö betrugen ca. 164 m^3 bzw. ca. 20 m^3. Dort wurden Mitte 1982 probeweise Flüssigabfälle (0,016 bzw. 0,08 m^3) mit Braunkohlenfilterasche (0,7 bzw. 0,4 m^3) verfestigt. Im Versuchsbereich zur Durchsumpfung 1w ist der verfestigte Flüssigabfall in einem Sohlenloch mit Beton (0,06 m^3) weitgehend überdeckt. Die flüssigen Abfälle stammen aus dem Betrieb der Kernkraftwerke. Ihre radioaktiven Inventare ($4{,}4\times10^{7}$ bzw. $2{,}3\times10^{8}$ Bq) sind

in der Bilanz der radioaktiven Stoffe im Abbau 3 enthalten. Nach Beendigung der Versuche wurden die Versuchsbereiche mit Mauern abgeschlossen.

Lager- und Konditionierungsbereich für flüssige radioaktive Abfälle

Die radioaktiven Inventare ($1{,}6\times10^9$ bzw. $1{,}6\times10^8$ Bq) der zu konditionierenden verdünnten Eindampfrückstände (2,3 bzw. 19,3 m^3 zum Zeitpunkt der Probeentnahme in 1999) aus den zwei EDR-Tanks (Fassungsvermögen je 25 m^3) sind in der Bilanz der radioaktiven Stoffe im Abbau 3 des Südfeldes enthalten. Schwach kontaminierte Abwässer aus der vor dem Beginn der Umrüstphase zurückgebauten übertägigen speziellen Kanalisation (ca. 7 m^3) sind den Eindampfrückständen beigemischt. Potenziell kontaminierte Abwässer aus der Dekontamination von Anlagen und Ausrüstungen sind bzw. werden beigemischt (≤ 9 m^3 im Stilllegungsbetrieb). Das Gesamtinventar einer Konditionierungscharge mit verdünnten Eindampfrückständen beträgt $\leq 1{,}5\times10^9$ Bq.

Ferner werden vor Ort radioaktive und potenziell kontaminierte Eigenabfälle aus dem Betrieb der Lager- und Konditionierungseinrichtungen für flüssige radioaktive Abfälle sowie aus den im Dekontaminationsraum durchgeführten Dekontaminationsarbeiten eingelagert. Ihre Masse beträgt ca. 13 Mg. Den Hauptmassenanteil der verbleibenden Materialien stellen Metalle dar. Das Gesamtinventar der verbleibenden radioaktiven Eigenabfälle ist in der Bilanz der radioaktiven Stoffe der verdünnten Eindampfrückstände aus den beiden EDR-Tanks enthalten.

Räume des betrieblichen Strahlenschutzes und sonstige Einsatzorte der Strahlenquellen

Am Radionuklid-Laborplatz werden Proben vorwiegend aus der Konditionierung der flüssigen radioaktiven Eigenabfälle (i. W. verdünnte Eindampfrückstände) radiochemisch aufbereitet und analysiert. In der SSÜ-Warte werden aufbereitete Proben gammaspektrometrisch analysiert. Die radioaktiven Inventare der Proben sind in der Bilanz der radioaktiven Stoffe der verdünnten Eindampfrückstände aus den beiden EDR-Tanks enthalten. Das zugelassene Lager- bzw. Umgangsinventar der am Radionuklid-Laborplatz aufbewahrten bzw. gehandhabten radioaktiven Stoffe beträgt $9{,}6\times10^9$ Bq bzw. $1{,}9\times10^9$ Bq. Das Inventar an offenen radioaktiven Stoffen ist im Umgangsinventar enthalten.

In allen Räumen des betrieblichen Strahlenschutzes werden umschlossene Strahlenquellen (i. W. Prüfstrahler) aufbewahrt und eingesetzt. Das ERAM verfügt über ca. 100 umschlossene Strahlenquellen mit einem Gesamtinventar von ca. $2{,}3\times10^9$ Bq. Zurzeit werden fünf davon außerhalb der Räume des betrieblichen Strahlenschutzes eingesetzt.

Potenziell kontaminierte und sonstige Eigenabfälle (Inventare der Räume des betrieblichen Strahlenschutzes) und ggf. radioaktive Eigenabfälle (Proben und umschlossene Strahlenquellen) verbleiben vor Ort. An den sonstigen Einsatzorten der Strahlenquellen verbleiben keine radioaktiven Eigenabfälle.

Zentralwerkstatt

In der Zentralwerkstatt mit ihrem Materialhandlager befinden sich potenziell kontaminierte und sonstige Eigenabfälle. Es handelt sich um Ausrüstungen und Materialreste aus dem

Betrieb der Zentralwerkstatt sowie um nicht mehr benötigte Grubenfahrzeuge aus dem Kontrollbereich. Das ehemalige Störreservelager ist leer. Dort befinden sich keine Abfälle.

4.5.3 Überdeckung der Abfälle zum Beginn der Umrüstphase

Die in den Abbauen 1, 2 und 3 eingelagerten Abfälle sind mit Braunkohlenfilterasche versetzt und mit einer Salzgrus- bzw. Braunkohlenfilterascheschicht von > 5 m überdeckt. Der Versatz in den Abbauen 1, 2 und 3 ist bis annähernd zur Firste eingebracht. Die Flüssigabfälle auf der 7. Sohle sowie die sonstigen Unterwerksbaue sind nicht versetzt. Die in den Versuchsbereichen zur Durchsumpfung 1w und 1ö mit Braunkohlenfilterasche verfestigten Flüssigabfälle sind ebenfalls nicht versetzt.

Die Funktionsräume und die sonstigen Einsatzorte der Strahlenquellen sind nicht versetzt.

4.5.4 Abschlüsse zum Beginn der Umrüstphase

Alle Löcher (Lanzenlöcher, Versturzlöcher, Wetterlöcher, Rolllöcher usw.) aus den Abbauen 1, 2 und 3 zu den Grubenbauen der 4. Sohle sind verschlossen. Der einzige begehbare Zugang zu den Grubenbauen der 7. Sohle und den sonstigen Unterwerksbauen ist das B-Gesenk 2B. Dieses ist durch eine Stahltür von der freien Strecke der 4. Sohle abgetrennt. Ferner sind die Grubenbaue der 7. Sohle und die sonstigen Unterwerksbaue durch zahlreiche nicht abgedichtete Wegsamkeiten mit den bewetterten Grubenbereichen verbunden. Die Versuchsbereiche zur Durchsumpfung 1w und 1ö sind durch Abschlussmauern von der freien Strecke abgetrennt.

Die Funktionsräume des Lager- und Konditionierungsbereichs für flüssige radioaktive Abfälle sind durch Abschlussmauern mit Stahltoren von der freien Strecke und den angrenzenden Grubenbauen abgetrennt.

Die Räume des betrieblichen Strahlenschutzes sind durch Abschlussmauern mit Stahltüren von den freien Strecken bzw. dem Füllort Bartensleben auf der 4. Sohle abgetrennt. Der Radionuklid-Laborplatz und die SSÜ-Warte sind durch eine Mauer mit Stahltür voneinander abgetrennt. Die sonstigen Einsatzorte der Strahlenquellen sind nicht abgeschlossen. Die Strahlenquelle im Tropfenzähler auf der 1. Sohle ist verschlossen (physischer Schutz).

Die Zentralwerkstatt und ihr Materialhandlager sind voneinander sowie von der freien Strecke und der Begleitstrecke durch Mauern, Stahltüren und ein Stahltor abgetrennt.

4.5.5 Verfüllkonzept

Die unversetzten Unterwerksbaue des Südfeldes einschließlich der 7. Sohle werden nicht verfüllt. Durch die Verfüllung der Grubenbaue auf der 4. Sohle werden die Unterwerksbaue einschließlich der bereits versetzten Abbaue 1, 2 und 3 durch Barrieren aus Salzbeton von oben verschlossen. Die Versuchsbereiche zur Durchsumpfung 1w und 1ö werden ebenfalls nicht verfüllt. Sie werden durch die Verfüllung der angrenzenden Richtstrecke nach Süden durch eine Barriere aus Salzbeton verschlossen. Dabei wird der Hochbruch im Kalilagerteil W am Ende der Richtstrecke nach Süden mit verfüllt.

Die Funktionsräume des Lager- und Konditionierungsbereichs für flüssige radioaktive Abfälle und die Räume des betrieblichen Strahlenschutzes werden zusammen mit den angrenzenden Strecken und Grubenbauen verfüllt (Dies gilt auch für die Dosimetriewarte, die zum späteren Zeitpunkt mit dem Füllortbereich 4. Sohle mitverfüllt wird). Sie werden somit durch Barrieren aus Salzbeton allseitig verschlossen. Bei der Verfüllung der Funktionsräume des Südfeldes können aus dem Verschluss (Schalwand) ggf. austretende potenziell kontaminierte Überschusslösungen über ein Rollloch in den darunter liegenden Abbau 1 (alternativ über das Südgesenk B) abgeführt werden. Der Salzbeton wird durch Bohrungen in den Abschlussmauern von der Firste aus eingebracht /DBE 05b/. Durch betriebliche Regelungen wird sichergestellt, dass Strahlenquellen vor der Verfüllung der sonstigen Einsatzorte entfernt werden.

Die Zentralwerkstatt mit ihrem Materialhandlager wird nicht verfüllt. Sie wird durch die Verfüllung der angrenzenden Strecke, der Begleitstrecke sowie ihres Entwetterungsrolllochs allseitig durch Barrieren aus Salzbeton verschlossen. Zur Abtrennung der Wetterstrecke von der Richtstrecke nach Süden werden im Störreservelager eine Abdichtung und eine temporäre Abdichtung errichtet. Östlich der temporären Abdichtung wird das Störreservelager verfüllt. Das Südfeld wird vom Ostquerschlag durch eine temporäre Abdichtung in der Südstrecke und die Verfüllung des Kalilagers B (einschl. der Begleitstrecken) abgetrennt. Vom Südostfeld wird es durch eine Abdichtung in der Wetterstrecke südlich und die Verfüllung des Kalilagers B abgetrennt. Vom Westquerschlag (bzw. Westfeld) wird es durch eine Abdichtung in der Richtstrecke nach Süden abgetrennt /DBE 05b/.

4.5.6 Bew etterung

Die Unterwerksbaue (einschließlich der Abbaue 1, 2 und 3 und der Grubenbaue der 7. Sohle) werden nicht bewettert. Die Richtstrecke Südfeld auf der 5. Sohle wird nach Bedarf absaugend bewettert /DBE 05/. In Abhängigkeit von betrieblichen Vorgängen (z. B. Treiben der Schachtförderanlage) sind temporäre Wetterbewegungen in den unversetzten Unterwerksbauen (einschließlich der 7. Sohle) nachweisbar. Verschiedentlich wetterdurchlässige Wegsamkeiten zur 4. Sohle bestehen zu den Grubenbauen und Strecken des Südfeldes und dem Kalilager B. Die Grubenbaue und Strecken des Südfeldes auf der 4. Sohle werden bewettert. Diese Wetter werden über den Abwetterschlot am Schacht Bartensleben abgeleitet. Beim Verfüllbetrieb wird auch das Kalilager B bewettert. Diese Wetter werden über den Abwetterschlot am Schacht Marie abgeleitet.

Die Versuchsbereiche zur Durchsumpfung 1w und 1ö werden nicht bewettert. Sie sind abgeschlossene Querschläge der bewetterten Richtstrecke nach Süden. Die Wetter aus der Richtstrecke nach Süden werden über den Abwetterschlot am Schacht Bartensleben abgeleitet.

Die Funktionsräume sowie die angrenzenden Grubenbaue und Strecken (einschl. des Füllorts Bartensleben 4. Sohle) werden bewettert /DBE 05/. Die Wetter werden über den Abwetterschlot am Schacht Bartensleben abgeleitet. Beim Füllort Bartensleben und der Dosimetriewarte werden sie zu ca. 87 % über den Abwetterschlot am Schacht Marie und zu ca. 13 % über den Abwetterschlot am Schacht Bartensleben abgeleitet. Die sonstigen Einsatzorte der Strahlenquellen werden ebenfalls bewettert.

4.6 Ostfeld

4.6.1 Vor-Ort-Ge gebenheiten

Im Einlagerungsbereich Ostfeld lagern unterhalb der 4a-Sohle in einer Tiefe von -360 bis -349 mNN radioaktive Abfälle in 3 Stapelebenen

- im Abbau 2 (16YEA61 R003).

Der Abbau 2 im Ostfeld ist 1 167 m vom Schacht Bartensleben (00YES01) entfernt (gemessen vom Durchhieb -360 mNN (17YEA63 R002) über das Flachen 4 (17YEA63 R001) und den Ostquerschlag (17YEQ01 R001)).

Ferner lagert unterhalb der 4. Sohle im Ostfeld in einer Tiefe von -370 mNN das sog. Radiumfass (Radium-VBA)

- in einem Sohlenloch eines Einlagerungsgrubenbaus (17YEQ01 R026) am Streckentiefsten des Ostquerschlags (17YEQ01 R001).

Das Radiumfass ist 1 105 m vom Schacht Bartensleben (00YES01) entfernt (gemessen über den Ostquerschlag (17YEQ01 R001)).

4.6.2 Inventar an radioaktiven Stoffen

Das vor Beginn der Einlagerung freie Hohlraumvolumen des Abbaus 2 im Bereich der 4a-Sohle im Ostfeld betrug ca. 81 000 m^3. Von 1997 bis 1998 wurden dort 6 139 m^3 niedrigradioaktive Abfälle gestapelt. Die Abfälle sind in 200-l-, 280-l-, 400-l- und 570-l-Fässern sowie in zylindrischen Betonbehältern verpackt. Die Abfallgebinde sind in drei Ebenen gestapelt. Die einzelnen Ebenen sind durch Salzgruslagen voneinander getrennt. Eingelagert sind überwiegend hochdruckverpresste Mischabfälle, zementierte Verdampferkonzentrate, Harze und Filterkonzentrate, metallische Abfälle, Bauschutt sowie Eigenabfälle. Das in das Ostfeld eingebrachte Gesamtinventar beträgt ca. $1{,}2\times10^{13}$ Bq.

Das freie Hohlraumvolumen des Einlagerungsgrubenbaus, in dem das Radiumfass in einem abgedichteten Sohlenloch lagert, beträgt ca. 140 m^3. Das 200-l-Radiumfass ist durch ein 280-l-Überfass umhüllt und in einem zylindrischen Betonbehälter (VBA) verpackt. Es enthält acht mit Radiumabfällen befüllte und in Aktivkohle eingebettete Spezialcontainer. Das Gesamtinventar beträgt ca. $3{,}7\times10^{11}$ Bq. Der zylindrische Betonbehälter mit Radiumabfällen befindet sich bereits in einem endlagergerechten Zustand, so dass im Stilllegungsbetrieb keine weiteren technischen Maßnahmen erforderlich sind. Der Einlagerungsgrubenbau ist mit einer Mauer abgeschlossen.

4.6.3 Überdeckung der Abfälle zum Beginn der Umrüstphase

Die im Abbau 2 eingelagerten Abfälle sind mit Salzgrus versetzt und werden bis zum Beginn der Umrüstphase mit einer Salzgrusschicht von > 1,2 m überdeckt. Das Sohlenloch mit dem eingelagerten Radiumfass und der Einlagerungsgrubenbau sind nicht versetzt.

4.6.4 Abschlüsse zum Beginn der Umrüstphase

Die Versatzschicht im Abbau 2 ist an den Durchhieben (ehemalige Zufahrten) durch Abschlussmauern von der freien Strecke abgetrennt. Die noch offenen Durchhiebe zum unversetzten Resthohlraum (oberhalb der Versatzschicht) werden in Verbindung mit der Überdeckung der 3. Stapelebene mit Salzgrus durch Abschlussmauern von der freien Strecke abgetrennt. Alle Löcher aus dem Abbau 2 zu den freien Strecken sind verfüllt oder durch Wettertüren verschlossen. Das Sohlenloch mit dem eingelagerten Radiumfass ist durch einen Betondeckel mit Gummidichtung abgeschlossen und der Einlagerungsgrubenbau durch eine Abschlussmauer von der freien Strecke abgetrennt.

4.6.5 Verfüllkonzept

Vor der Verfüllung des Abbaus 2 werden die angrenzenden Strecken der 4. Sohle bis unterhalb des ersten Durchhiebs zum Abbau 2 mit Salzbeton verfüllt. Der Einlagerungsgrubenbau mit dem Radiumfass wird nicht verfüllt. Er wird durch die Verfüllung des angrenzenden Streckentiefsten des Ostquerschlags durch eine Barriere aus Salzbeton verschlossen. Das Ostfeld wird vom restlichen Ostquerschlag 4. Sohle durch eine Abdichtung abgetrennt. Nach Fertigstellung des ersten, als sofort wirksame Abdichtung ausgelegten Segments wird der Abbau 2 mit den umliegenden Flachen 4 und 4c einschließlich der Durchhiebe sowie dem Förderrollloch 2a verfüllt. Anschließend werden die Abbaue 1 und 4 sowie die umliegenden Flachen 4a und 4b einschließlich der Durchhiebe verfüllt. Der Einlagerungsgrubenbau wird dadurch allseitig durch Barrieren aus Salzbeton oder anderen geeigneten Materialien verschlossen. Die Verfüllung dieser Grubenbaue erfolgt durch Bohrungen von der 2. Sohle aus. Die Bohrungen werden vor dem Beginn der Verfüllmaßnahmen im Einlagerungsbereich erstellt. Die übrigen Steinsalzabbaue und anderen Grubenbaue des Ostfeldes werden parallel bzw. direkt im Nachgang dazu verfüllt. Schließlich wird das Ostfeld vom restlichen Ostquerschlag 2. Sohle durch eine Abdichtung abgetrennt /DBE 05b/.

4.6.6 Bew etterung

Der Abbau 2 sowie die angrenzenden Strecken werden bewettert /DBE 05/. Diese Wetter werden über den Abwetterschlot am Schacht Marie abgeleitet. Der Einlagerungsgrubenbau mit dem Radiumfass wird nicht bewettert. Er ist eine abgeschlossene Kammer des Ostquerschlags. Die Wetter aus diesem Abschnitt des Ostquerschlags werden über den Abwetterschlot am Schacht Marie abgeleitet.

4.7 Untertagem essfeld

4.7.1 Vor-Ort-Ge gebenheiten

Das Untertagemessfeld (UMF) setzt sich aus dem UMF I (17YEA53 R001), dem UMF II (17YEA54 R001) und der Zufahrt UMF (3. südlichen Richtstrecke, 17YER52 R001) zusammen. Im UMF lagern unterhalb der 4. Sohle radioaktive Abfälle

- im Sohlenbohrloch A1 (17YEA54 RB002) und

- im Sohlenbohrloch A2 (17YEA54 RB015)

sowie auf der 4. Sohle radioaktive und potenziell kontaminierte Eigenabfälle

- im UMF II (17YEA54 R001).

Das UMF ist 755 m vom Schacht Bartensleben (00YES01) entfernt (gemessen vom Sohlenbohrloch A1 (17YEA54 RB002) über die Zufahrt UMF (17YER52 R001) und den Ostquerschlag (17YEQ01 R001)).

Ferner befindet sich auf der 4. Sohle gegenüber dem UMF in einer Tiefe von -372 mNN der folgende Funktionsraum:

- ein Materiallager in der 1. nördlichen Richtstrecke (17YER41 R001).

Das Materiallager ist 644 m vom Schacht Bartensleben (00YES01) entfernt (gemessen über den Ostquerschlag (17YEQ01 R001)).

4.7.2 Inventar an radioaktiven Stoffen

Im UMF II sind in zwei Sohlenbohrlöchern sieben Spezialcontainer mit überwiegend Co-60-Strahlenquellen zwischengelagert. Neben diesen Strahlenquellen sind außerdem Cs-137-Strahlenquellen sowie feste Kobalt- und Europiumabfälle in den Spezialcontainern enthalten. Insgesamt sind etwa 885 Strahlenquellen eingelagert. Die Einlagerung erfolgte in den Jahren 1985, 1987 sowie 1990. Das Gesamtinventar der Abfälle in den Sohlenbohrlöchern beträgt ca. $3{,}9\times10^{14}$ Bq. Die im UMF zwischengelagerten Abfälle befinden sich bereits in einem endlagergerechten Zustand, so dass im Stilllegungsbetrieb keine weiteren technischen Maßnahmen erforderlich sind.

Ferner wurden im UMF radioaktive und potenziell kontaminierte Eigenabfälle eingelagert. Es handelt sich um Altbehälter, Einlagerungsausrüstungen und Zubehör. Ihre Masse beträgt ca. 209 Mg. Den Hauptmassenanteil der eingelagerten Materialien stellen Metalle dar. Das Gesamtinventar der im UMF eingelagerten radioaktiven Eigenabfälle beträgt ca. $3{,}7\times10^{8}$ Bq.

Im Materiallager lagern potenziell kontaminierte und sonstige Eigenabfälle. Es handelt sich um Ausrüstungen und Materialreste aus dem Betrieb der Werkstatt.

4.7.3 Überdeckung der Abfälle zum Beginn der Umrüstphase

Das UMF sowie das Materiallager sind nicht versetzt.

4.7.4 Abschlüsse zum Beginn der Umrüstphase

Die Sohlenbohrlöcher mit den eingelagerten Strahlenquellen sind mit speziellen Bohrlochstopfen verschlossen und mit Stahlplatten abgedeckt. Das UMF ist durch eine Abschlussmauer mit Stahltor von der freien Strecke abgetrennt. Das Materiallager ist durch eine Abschlussmauer mit Stahltür von der freien Strecke abgetrennt.

ERA Morsleben

4.7.5 Verfüllkonzept

Nach Verfüllung des angrenzenden Streckenabschnitts des Ostquerschlags 4. Sohle wird das somit durch eine Barriere aus Salzbeton verschlossene UMF verfüllt. Zur Verfüllung des UMF wird der Salzbeton durch Bohrungen vom Flachen 2 von der Firste aus eingebracht. Anschließend wird das Flachen 2 verfüllt. Die Bohrungen werden vor der Verfüllung des angrenzenden Streckenabschnitts des Ostquerschlags erstellt /DBE 05b/.

Das Materiallager wird durch die Verfüllung des angrenzenden Streckenabschnitts des Ostquerschlags durch eine Barriere aus Salzbeton verschlossen. Das Materiallager selbst wird nicht verfüllt /DBE 05b/.

4.7.6 Bew etterung

Das UMF und das Materiallager sowie der angrenzende Ostquerschlag werden bewettert /DBE 05/. Die Abwetter des UMF und des Materiallagers sowie des angrenzenden Streckenabschnitts des Ostquerschlags werden über den Abwetterschlot am Schacht Marie abgeleitet.

4.8 Radioaktive Stoffe außerhalb der Einlagerungsbereiche

Einige außerhalb der Einlagerungsbereiche eingesetzte Anlagenteile der Bewetterungstechnik sind potenziell kontaminiert. Die nicht mehr benötigten potenziell kontaminierten Anlagenteile werden in die Einlagerungsgrubenbaue verbracht oder extern entsorgt oder verbleiben vor Ort. Zum Verbleib außerhalb des Kontrollbereichs werden sie frei gemessen nach § 44 Abs. 2 Nr. 3 StrlSchV. Die Einsatzorte sind befahrbar, z. T. auch mit Fahrzeugen. Sie sind nicht versetzt oder abgeschlossen und werden bewettert /DBE 05/.

5 ERMITTLUNG DER ABLEITUNG RADIOAKTIVER STOFFE MIT DEN ABWETTERN

Nachfolgend wird untersucht, welche radiologischen Verhältnisse sich im bestimmungsgemäßen Stilllegungsbetrieb bei den vorgenannten Randbedingungen ergeben und welche Schutzvorkehrungen hierfür erforderlich sind. Dies betrifft zum einen die möglichen Freisetzungen flüchtiger Radionuklide aus den Abfällen und den Transport mit den Abwettern bis zur Ableitung über die Abwetterschlote an Schacht Bartensleben und an Schacht Marie. Die aus diesen Radionukliden resultierenden potenziellen Strahlenexpositionen des Personals durch Inhalation werden für den Normalbetrieb und bei anomalen Betriebszuständen abgeschätzt.

Zum anderen werden die Auswirkungen der äußeren Bestrahlung im Strahlenfeld der radioaktiven Abfälle betrachtet. Hierzu gehören die Ortsdosisleistungen in Arbeitsbereichen und die daraus resultierenden Strahlenexpositionen des Personals sowie die Auswirkung der Strahlung auf das umgebende Material, vorrangig das Salzgestein.

Abschließend wird noch analysiert, welche Auswirkungen das Auftreten von Überschusslösungen für die Sicherheitsanalyse des bestimmungsgemäßen Betriebes während der Stillle-

ERA Morsleben

gungsphase haben kann. Eine Aktivitätsableitung über den Abwasserpfad wird nicht betrachtet.

Zur Ermittlung der Aktivitätsfreisetzung aus den im Endlager vorhandenen Abfällen im bestimmungsgemäßen Betrieb während der Stilllegungsphase wird das vom BfS ermittelte Aktivitätsinventar, zerfallskorrigiert auf den 30. Juni 2005, zu Grunde gelegt. Es wird aufgezeigt, wie sich das Inventar flüchtiger radioaktiver Stoffe auf die verschiedenen chemischen Verbindungen aufteilt. Darauf aufbauend wird anhand von im Endlager gemessenen sowie anderen experimentellen Daten abgeleitet, welche Freisetzungsraten und jährlichen Aktivitätsableitungen für diese flüchtigen radioaktiven Stoffe zu unterstellen sind. Ergänzend dazu wird anhand von Modellrechnungen die zeitliche Entwicklung der Freisetzung flüchtiger radioaktiver Stoffe während der Stilllegungsphase untersucht.

5.1 Aktivitätsinventar flüchtiger Radionuklide

Das aktuelle Nuklidinventar der von 1971 bis 1998 im ERAM eingelagerten flüchtigen radioaktiven Stoffe wird zerfallskorrigiert zum 30.06.2005 nachfolgend zusammengestellt und liegt, soweit nicht anders angemerkt, den weiteren Analysen zum Verhalten flüchtiger radioaktiver Stoffe zu Grunde.

Die ehemals flüssigen Abfälle auf der 7. Sohle (ca. 300 m³, Stand 1998) enthalten ein Tritiuminventar von $2{,}2\times10^{10}$ Bq. In den nachfolgend spezifizierten Tritiuminventaren der einzelnen Einlagerungsbereiche ist diese Aktivität schon mit enthalten, da sie dem Abbau 3 im Südfeld zugerechnet wurde. Das gleiche gilt für die sonstigen flüchtigen Radionuklide, deren Inventar nicht gesondert bestimmt wurde.

Aus der bei der letzten Befahrung der 7. Sohle 1998 dokumentierten Absenkung des Flüssigkeitspegels lässt sich ableiten, dass die Freisetzungsrate von Tritium in Form von HTO aus diesem Bereich nicht höher ist, als aus den radioaktiven Abfällen in den Einlagerungskammern. Die Ursache liegt darin, dass das Tritium in Form von HTO zwar frei verdunsten, aber nur über Öffnungen mit geringem Querschnitt (wenige Quadratmeter) diffusiv oder infolge von Druckschwankungen abtransportiert werden kann. Messtechnisch wurde bei der Befahrung festgestellt, dass es dort keine Wetterströmung gibt. Aus diesem Grunde und wegen des geringen Inventars flüchtiger radioaktiver Stoffe in diesem Bereich wird deren Beitrag zur Freisetzung flüchtiger radioaktiver Stoffe im Folgenden vernachlässigt.

5.1.1 Tritium (H-3)

Für Tritium beträgt die Gesamtaktivität im ERAM $3{,}2\times10^{12}$ Bq zum 30.06.2005. Die Tritiumaktivität verteilt sich auf die einzelnen Einlagerungsbereiche gemäß der in der Tabelle 5-1 wiedergegebenen Aufteilung.

Tabelle 5-1: Verteilung des H-3-Inventars auf die Einlagerungsbereiche des ERAM

Einlagerungsbereich	**H-3-Aktivität in Bq Bezugsdatum: 30.06.05**
Nordfeld gesamt	$1{,}1\times10^{12}$
Westfeld 1[1)]	$7{,}9\times10^{11}$
Westfeld 2[2)]	$4{,}3\times10^{11}$
Westgesenk	$2{,}5\times10^{08}$
Südfeld gesamt	$7{,}6\times10^{11}$
Zentralteil	$7{,}7\times10^{08}$
Ostfeld	$1{,}0\times10^{11}$
Gesamt 3,2×10	**12**

[1)] Westfeld 1: Nördliche Richtstrecke, Abbaue 4 und 5
[2)] Westfeld 2: Abbaue 1s, 1n, 2 und 3

Für die im Zeitraum von Januar 1994 bis September 1998 eingelagerten radioaktiven Abfälle wurde die eingelagerte Tritiumaktivität differenziert nach dem Anteil, der als HTO, als unspezifiziertes Tritium oder in metallischer Form vorliegt. Die entsprechenden in der nachfolgenden Analyse herangezogenen Werte wurden durch Auswertung der Endlagerdokumentation des ERAM erhalten und sind in Tabelle 5-2 wiedergegeben.

Hieraus kann abgeleitet werden, dass 79,4 % der eingelagerten H-3-Aktivität in Form von HTO und nur 20,6 % als unspezifiziertes Tritium eingelagert wurden. Das metallisch gebundene Tritium spielt keine Rolle für das eingelagerte Inventar und wird in sehr viel geringerem Umfang freigesetzt.

Für das Nordfeld liegen keine derartigen Daten vor, da im Zeitraum von 1994 bis 1998 keine Abfälle im Nordfeld eingelagert wurden. Wegen des hohen Anteils von Abfällen aus der Anwendung und Produktion von Radionukliden (APR) wird der Anteil des unspezifizierten Tritiums mit 90 % abgeschätzt.

5.1.2 Kohlenstoff-14 (C-14)

Für C-14 beträgt die Gesamtaktivität im ERAM $3{,}3\times10^{12}$ Bq. Für die einzelnen Einlagerungsbereiche des ERAM ergibt sich daraus die in der Tabelle 5-3 wiedergegebene Aktivitätsverteilung für C-14.

Tabelle 5-2: Verteilung der H-3-Speziation der 1994 bis 1998 eingelagerten Abfälle in den Einlagerungsbereichen

Einlagerungsbereich	H-3-Speziation	H-3-Aktivität in Bq Bezugsdatum: 30.06.05
Südfeld, Abbau 1	HTO unspezifiziert	$7{,}0\times10^{09}$ $6{,}4\times10^{09}$
Südfeld, Abbau 2	HTO unspezifiziert	$1{,}1\times10^{11}$ $4{,}7\times10^{09}$
Westfeld 1	HTO unspezifiziert	$1{,}5\times10^{11}$ $1{,}3\times10^{10}$
Westfeld 2	HTO unspezifiziert metallisch	$3{,}4\times10^{11}$ $8{,}8\times10^{10}$ $8{,}8\times10^{07}$
Ostfeld, Abbau 2	HTO unspezifiziert	$3{,}8\times10^{10}$ $5{,}7\times10^{10}$
Gesamt HTO	**unspezifiziert** **metallisch**	**$6{,}5\times10^{11}$** **$1{,}7\times10^{11}$** **$8{,}8\times10^{07}$**

Die Endlagerdokumentation wurde bezüglich der Verteilung der C-14-Aktivität auf organisch und anorganisch gebunden vorliegendes C-14 ausgewertet. Das Ergebnis für die im Zeitraum von Januar 1994 bis September 1998 eingelagerten radioaktiven Abfälle ist in Tabelle 5-4 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 5-3: Verteilung des C-14-Inventars auf die Einlagerungsbereiche des ERAM

Einlagerungsbereich	C-14-Aktivität in Bq Bezugsdatum: 30.06.05
Nordfeld gesamt	$5{,}8\times10^{10}$
Westfeld 1	$6{,}5\times10^{11}$
Westfeld 2	$1{,}2\times10^{11}$
Westgesenk	$2{,}9\times10^{08}$
Südfeld gesamt	$2{,}4\times10^{12}$
Zentralteil	$2{,}9\times10^{09}$
Ostfeld	$1{,}2\times10^{11}$
Gesamt 3,4×10	**12**

ERA Morsleben

Tabelle 5-4: Verteilung der C-14-Speziation auf die Einlagerungsbereiche

Einlagerungsbereich	C-14-Speziation	C-14-Aktivität in Bq Bezugsdatum: 30.06.05
Südfeld	organisch anorganisch	$1{,}6x10^{12}$ $8{,}6x10^{11}$
Westfeld	organisch anorganisch	$6{,}4x10^{11}$ $1{,}3x10^{11}$
Ostfeld	organisch anorganisch	$1{,}6x10^{9}$ $1{,}2x10^{11}$
Nordfeld	organisch anorganisch	$5{,}5x10^{10}$ $3{,}0x10^{9}$
Gesamt	organisch anorganisch	**$2{,}3x10^{12}$** **$1{,}1x10^{12}$**

5.1.3 Radium-226 (Ra-226)

Das Gesamtinventar für Ra-226 im ERAM beträgt $3{,}9\times10^{11}$ Bq. Hiervon entfallen $3{,}7\times10^{11}$ Bq auf das im Ostfeld lagernde Radiumfass. Für die einzelnen Einlagerungsbereiche ergibt sich die in der Tabelle 5-5 wiedergegebene Aufteilung der eingelagerten Radiumaktivität.

Tabelle 5-5: Verteilung des Ra-226-Inventars auf die Einlagerungsbereiche des ERAM

Einlagerungsbereich	Ra-226-Aktivität in Bq Bezugsdatum: 30.06.05
Nordfeld gesamt	-
Westfeld 1	$1{,}2\times10^{10}$
Westfeld 2	$4{,}7\times10^{07}$
Westgesenk	-
Südfeld	$1{,}1\times10^{10}$
Zentralteil	-
Ostfeld, Abbau 2	$1{,}0\times10^{07}$
Ostfeld, Radiumfass	$3{,}7\times10^{11}$
Gesamt $3{,}9\times10^{11}$	

5.2 Ableitung von Freisetzungsraten aus der bisherigen Betriebserfahrung

Die Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern des ERAM wurde während der Einlagerungsphase durch die Freisetzung radioaktiver Stoffe aus den Abfallgebinden während der Handhabung (Transport, Umschlag, Stapelung bzw. Versturz) in offenen Einlagerungsbereichen sowie durch die Freisetzung flüchtiger Radionuklide aus bereits versetzten und abgeschlossenen Einlagerungshohlräumen bestimmt. Nach dem Versetzen und/oder Abschluss aller Einlagerungshohlräume dagegen beschränkt sich die Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Grubenatmosphäre ausschließlich auf die Freisetzung flüchtiger Radionuklide aus versetzten und abgeschlossenen Einlagerungshohlräumen.

Solange die Abfälle in den Einlagerungshohlräumen unversetzt und diese nicht abgeschlossen sind, werden die aus dem Abfallprodukt und nachfolgend aus dem Abfallbehälter freigesetzten radioaktiven Stoffe luftgetragen und quasi spontan mit den Abwettern aus den einzelnen Einlagerungsbereichen abgezogen und mit dem Gesamtabwetterstrom abgeleitet. Nach dem Versetzen der Abfallgebinde und dem Abschluss der Einlagerungshohlräume kann die Freisetzung flüchtiger Radionuklide bewirkt werden durch:

- Auspressen von Raumluft durch Gasbildung im Einlagerungshohlraum
- Schwankungen des äußeren Luftdrucks, die auf das Grubengebäude und damit auf den Einlagerungshohlraum wirken
- Diffusion der aus den Abfallgebinden freigesetzten flüchtigen Radionuklide durch das Versatzmaterial und die Abschlüsse
- Auspressen von Raumluft durch Konvergenz der Einlagerungshohlräume.

Nachfolgend werden die bisherigen Erfahrungswerte der Aktivitätsableitung mit den Abwettern während der Betriebsphase vor Planfeststellungsbeschluss daraufhin analysiert, welche Freisetzung flüchtiger Radionuklide aus den Einlagerungsbereichen während der Stilllegungsphase zu erwarten ist. Die daraus ermittelten jährlichen relativen Abgaberaten stellen gemittelte Werte für unversetzte und versetzte Bereiche dar.

Ein Teil der Abwetter zieht im Schacht Bartensleben durch zwei parallele Lutten aus. Die restlichen Wetter ziehen über die Verbindungsstrecken in das Grubengebäude Marie und über Schacht Marie aus. Für die Ermittlung von Freisetzungsraten aus den bisherigen Betriebserfahrungen werden beide Abwetterwege berücksichtigt.

5.2.1 Tritium (H-3)

Die Messergebnisse der im Zeitraum von 1999 bis 2002 mit den Abwettern jährlich abgeleiteten Tritiumaktivität können der Tabelle 5-6 entnommen werden. Bezieht man die jährlichen Ableitungswerte auf das eingelagerte Tritiuminventar, lässt sich daraus eine mittlere relative jährliche Freisetzungsrate für Tritium und Tritiumverbindungen ermitteln. Das Ergebnis dieser Auswertung zeigt Tabelle 5-7. Das in Spalte 2 angegebene kumulative H-3-Inventar beschreibt das insgesamt eingelagerte H-3-Aktivitätsinventar. Dabei wurde der radioaktive Zerfall berücksichtigt.

Der Erwartungswert der Tritiumfreisetzungsrate aus dem Abfallgebinden bzw. unversetzten, offenen Einlagerungshohlräumen von etwa 0,05 a^{-1} /MUE 85/ wird in allen Jahren deutlich unterschritten. Grund dafür ist, dass durch Versetzen des eingelagerten Abfalls und Abschluss der Einlagerungshohlräume bzw. durch Abschluss von Teilbereichen in den Einlagerungshohlräumen eine Rückhaltewirkung erreicht wird.

Tabelle 5-6: Jahresableitung von Tritium (HTO) mit den Abwettern des ERAM /DBE 99ff./

Jahr	Ableitung Schacht Bartensleben in Bq	Ableitung Schacht Marie in Bq	Gesamtableitung in Bq
1999	$2{,}8\times10^{10}$	$6{,}5\times10^{9}$	$3{,}5\times10^{10}$
2000	$2{,}8\times10^{10}$	$7{,}3\times10^{9}$	$3{,}5\times10^{10}$
2001	$4{,}9\times10^{10}$	$4{,}2\times10^{9}$	$5{,}3\times10^{10}$
2002	$3{,}2\times10^{10}$	$8{,}5\times10^{9}$	$4{,}1\times10^{10}$

Tabelle 5-7: Berechnete mittlere jährliche relative H-3-Freisetzungsraten des ERAM

Jahr	kumulatives H-3-Inventar in Bq	H-3-Jahresableitung (HTO) in Bq	Freisetzungsrate in a^{-1}
1999	$4{,}4\times10^{12}$	$3{,}5\times10^{10}$	0,008
2000	$4{,}1\times10^{12}$	$3{,}5\times10^{10}$	0,009
2001	$3{,}9\times10^{12}$	$5{,}3\times10^{10}$	0,014
2002	$3{,}7\times10^{12}$	$4{,}1\times10^{10}$	0,011

Im Vergleich dazu wurde auch für den Einlagerungsbetrieb des Versuchsendlagers Asse eine Freisetzungsrate von 0,05 a^{-1} aus teilweise unversetzten Abfällen für HTO abgeschätzt /STI 83/. Ein vergleichbarer Wert ergibt sich als abdeckende Obergrenze aus experimentellen Erfahrungs- und Messwerten der Tritiumfreisetzung aus verschiedenen Abfallprodukten /ALD 92, MUE 85/.

In der Sicherheitsanalyse für den bestimmungsgemäßen Einlagerungsbetrieb wurde für HTO eine jährliche Freisetzungsrate von 0,05 a^{-1} aus den unversetzten Abfällen und für unspezifiziertes Tritium eine jährliche Freisetzungsrate von 0,1 a^{-1} verwendet /KUN 98/. Der Freisetzungsrate für unspezifiziertes Tritium liegt zu Grunde, dass die Hälfte der Freisetzung als HTO, die andere Hälfte als HT infolge radiolytischer Zersetzung erfolgt. Für versetzte Abfälle

wurde für HTO ein Wert von 0,005 a^{-1} und für unspezifiziertes Tritium ein Wert von 0,055 a^{-1} zu Grunde gelegt. Für HT wurde keine Rückhaltung im Versatz angenommen.

Die in der Sicherheitsanalyse des bestimmungsgemäßen Einlagerungsbetriebes für unspezifiziertes Tritium unterstellte radiolytische Zersetzung spielt für die Stilllegungsphase des ERAM keine Rolle. Von den eingelagerten Abfällen fallen über 90 % in die Strahlenschutzgruppe S1 und S2. Wegen deren Aktivitäts- und Dosisleistungsbegrenzung kann eine Tritiumfreisetzung durch radiolytische Zersetzung in der für den bestimmungsgemäßen Einlagerungsbetrieb unterstellten Höhe von 0,05 a^{-1} ausgeschlossen werden.

Eine Freisetzung von Tritium aus metallischen Feststoffen ist nach bisheriger Erfahrung sehr gering. Dies ergibt sich einerseits aus dem geringen Anteil des Tritiuminventars in Morsleben, das in dieser Form eingelagert wurde. Zum anderen weist Tritium in dieser Form eine deutlich geringere Freisetzungsrate auf, so dass bereits in der Einlagerungsphase der Beitrag des Tritiums in metallischen Feststoffen zur gesamten Tritiumfreisetzung keine Rolle spielt (vgl. Tabelle 5-2).

5.2.2 Kohlenstoff-14 (C-14)

Die Messergebnisse der im Zeitraum von 1999 bis 2002 mit den Abwettern jährlich abgeleiteten C-14-Aktivität enthält Tabelle 5-8. Analog zum Tritium sind in Tabelle 5-9 das C-14-Inventar im Endlager, die C-14-Ableitung mit den Abwettern sowie die daraus berechnete mittlere relative jährliche Freisetzungsrate zusammengestellt.

Aus den so ermittelten mittleren jährlichen Freisetzungsraten für C-14 (CO_2) aus allen Einlagerungsbereichen wird deutlich, dass die Flüchtigkeit von C-14-Verbindungen deutlich geringer ist als die des Tritiums. Die in Tabelle 5-9 aus den gemessenen Werten berechneten mittleren jährlichen Freisetzungsraten für die Freisetzung von C-14-Verbindungen aus den Einlagerungsbereichen zeigen, dass das Versetzen der Abfälle und der Abschluss der Einlagerungshohlräume das aus den Abfällen freigesetzte C-14 wirksam zurückhalten.

Tabelle 5-8: Jahresableitung von C-14 (CO_2) mit den Abwettern des ERAM /DBE 99ff./

Jahr	Ableitung Schacht Bartensleben in Bq	Ableitung Schacht Marie in Bq	Gesamtableitung in Bq
1999	$2{,}0\times10^{9}$	$2{,}4\times10^{8}$	$2{,}2\times10^{9}$
2000	$2{,}2\times10^{9}$	$3{,}4\times10^{8}$	$2{,}5\times10^{9}$
2001	$1{,}7\times10^{9}$	$3{,}2\times10^{8}$	$2{,}0\times10^{9}$
2002	$9{,}3\times10^{8}$	$4{,}0\times10^{8}$	$1{,}3\times10^{9}$

Tabelle 5-9: Berechnete mittlere jährliche relative C-14-Freisetzungsraten des ERAM

Jahr	kumulatives C-14-Inventar in Bq	C-14-Jahres-ableitung (CO_2) in Bq	Freisetzungsrate in a^{-1}
1999	$3{,}3\times10^{12}$	$2{,}2\times10^{9}$	0,0007
2000	$3{,}3\times10^{12}$	$2{,}5\times10^{9}$	0,0008
2001	$3{,}3\times10^{12}$	$2{,}0\times10^{9}$	0,0006
2002	$3{,}3\times10^{12}$	$1{,}3\times10^{9}$	0,0004

In der Sicherheitsanalyse des bestimmungsgemäßen Einlagerungsbetriebes wurde für unspezifiziertes C-14 eine jährliche Freisetzungsrate von 0,005 a^{-1} und für C-14 in Verdampferkonzentraten (EDR) eine jährliche Freisetzungsrate von 0,0005 a^{-1} angenommen /KUN 98/. Die Freisetzungsraten wurden sowohl für unversetzte, als auch für versetzte Abfälle verwendet.

5.2.3 Radon-222 (Rn-222)

Die Messergebnisse der im Zeitraum von 1999 bis 2002 mit den Abwettern jährlich abgeleiteten Rn-222-Aktivität können der Tabelle 5-10 entnommen werden.

Die jährlichen Freisetzungsraten für Rn-222 aus allen Einlagerungsbereichen bezogen auf das eingelagerte Ra-226-Inventar und die mittleren relativen jährlichen Rn-222-Freisetzungen des ERAM zeigt Tabelle 5-11. Das im „Radiumfass“ enthaltene Inventar von Ra-226 wurde in Tabelle 5.11 nicht berücksichtigt, weil der Beitrag zur Ableitung von Rn-222 sehr gering ist.

Tabelle 5-10: Jahresableitung von Rn-222 einschließlich des Radons natürlicher Herkunft mit den Abwettern des ERAM /DBE 99ff./

Jahr	Ableitung Schacht Bartensleben in Bq	Ableitung Schacht Marie in Bq	Gesamtableitung in Bq
1999	$1{,}5\times10^{10}$	$4{,}3\times10^{10}$	$5{,}8\times10^{10}$
2000	$2{,}3\times10^{10}$	$2{,}4\times10^{10}$	$4{,}7\times10^{10}$
2001	$3{,}0\times10^{10}$	$2{,}0\times10^{10}$	$5{,}0\times10^{10}$
2002	$2{,}3\times10^{10}$	$4{,}3\times10^{10}$	$6{,}6\times10^{10}$

Vergleicht man die ermittelten relativen jährlichen Freisetzungsraten für Rn-222 aus allen Einlagerungsbereichen mit den in der Sicherheitsanalyse des bestimmungsgemäßen Einlagerungsbetriebes abgeleiteten und verwendeten Werten von 53 a^{-1} (für unverfestigte Abfälle) bzw. 3,3 a^{-1} (für verfestigte Abfälle) /KUN 98/, zeigt sich eine Unterschreitung beider Werte. Auch hier ist durch das Versetzen der Abfälle und den Abschluss der Einlagerungshohlräume eine deutliche Rückhaltung gegeben.

Nicht berücksichtigt ist bei dem Ra-226-Inventar in Tabelle 5-11 der Ra-226-Gehalt in der Braunkohlenfilterasche (BFA), die in großen Mengen als Versatzmaterial in das ERAM eingebracht worden ist und ebenfalls einen Beitrag zu den gemessenen Rn-222-Freisetzungen liefert, der allerdings schwer von dem Beitrag der radioaktiven Abfälle zur gemessenen Freisetzung zu diskriminieren ist. Ferner enthalten die in Tabelle 5-11 angegebenen jährlichen Rn-222-Ableitungen das mit den Frischwettern eingezogene Rn-222 und das aus dem Wirtsgestein und den Betoneinbauten freigesetzte Rn-222, die gemeinsam mehr als die Hälfte der Rn-222-Ableitungen ausmachen. Aus den Einlagerungsbereichen stammen am Schacht Bartensleben nur 31,4 % und am Schacht Marie lediglich 4,2 % /IBA 03/.

Die Rückhaltewirkung durch Versetzen und Abschluss der Einlagerungshohlräume ist demzufolge tatsächlich noch deutlich größer, als es in den in Tabelle 5-11 aufgeführten Freisetzungsraten zum Ausdruck kommt.

Tabelle 5-11: Berechnete mittlere jährliche relative Rn-222-Freisetzungsraten im ERAM

Jahr	kumulatives Ra-226-Inventar in Bq	Rn-222-Jahresableitung in Bq	Freisetzungsrate in a^{-1}
1999	$2{,}3\times10^{10}$	$5{,}8\times10^{10}$	2,5
2000	$2{,}3\times10^{10}$	$4{,}7\times10^{10}$	2,0
2001	$2{,}3\times10^{10}$	$5{,}0\times10^{10}$	2,2
2002	$2{,}3\times10^{10}$	$6{,}6\times10^{10}$	2,9

Die in Tabelle 5.11 berechneten Freisetzungsraten bestätigen auf diese Weise zwar einerseits die Konservativität der bisherigen Vorgehensweise. Andererseits gestatten sie nicht, den aus den radioaktiven Abfällen herrührenden Freisetzungsanteil realistisch im Sinne eines Erwartungswertes abzuschätzen. Daher wurde in /ALK 06/ eine detaillierte Analyse des Radonflusses in der Anlage vorgenommen. Für die radiologische Bewertung der Ableitung von Rn-222 und seiner Folgeprodukte im bestimmungsgemäßen Stilllegungsbetrieb wird daher auf diese Unterlage verwiesen. Eine Zusammenfassung der in /ALK 06/ erzielten Ergebnisse findet sich in Abschnitt 5.5.3.

5.3 Aktivitätstransport durch Versatz und technische Barrieren

5.3.1 Versatz

Eine Rückhaltung oder Verzögerung flüchtiger radioaktiver Stoffe, die aus den Abfällen freigesetzt wurden, kann im Versatz auf verschiedene Weisen erfolgen. Zum einen kann durch chemische Reaktionen zwischen Versatz und flüchtiger radioaktiver Verbindung eine Rückhaltung bewirkt werden. Zum anderen kann durch Adsorptionsprozesse eine Verzögerung flüchtiger radioaktiver Stoffe erfolgen. Eine Rückhaltung kommt bei diesem Mechanismus im Allgemeinen nicht in Frage, da bei Erreichen des Adsorptions-/Desorptionsgleichgewichtes gleich viel gebunden wie freigesetzt wird. Allerdings tritt durch die Adsorption eine Verzögerung ein, die bei kurzlebigen radioaktiven Stoffen zu einer Verringerung des Aktivitätsaustrages führt. Schließlich kann durch Isotopenaustausch eine Verzögerung der Freisetzung flüchtiger Radionuklide eintreten, die prinzipiell den gleichen Begrenzungen wie die Adsorption unterworfen ist.

Für die zuvor diskutierten Radionuklide, die in flüchtiger Form vorliegen, werden diese Prozesse in unterschiedlicher Weise wirksam. Entscheidend ist dabei neben der Flüchtigkeit des Radionuklids das Versatzmaterial sowie Art und Geschwindigkeit der Strömungsprozesse (Konvektion, Diffusion), die den Aktivitätstransport bewirken. Nachfolgend werden diese Zusammenhänge nuklidspezifisch untersucht.

5.3.1.1 Tritium (H-3)

Tritium liegt im Abfallprodukt in überwiegendem Maße als HTO vor (vgl. Abschnitt 5.1). Darüber hinaus wird, wie frühere Untersuchungen gezeigt haben /KÖS 84/, /KUN 83/, /LOR 79/, Tritium selbst aus Abfallprodukten, in denen es nicht in Form von HTO enthalten ist, überwiegend als HTO freigesetzt.

In dieser chemischen Form verhält sich Tritium analog zu Wasser, d. h. in diesem Fall kongruent zur Luftfeuchte in den verbleibenden Resthohlräumen. Wie Messungen an Salzgrus ausweisen /BEY 89/, wird HTO beim Durchströmen von Salzgrus als Versatzmaterial deutlich verzögert. Es wurden Retardationsfaktoren von rund 10 bis 100 an einer Salzgrussäule von 40 cm Länge gemessen.

In noch stärkerem Maße wird HTO auf diese Weise in Braunkohlenfilterasche (BFA) verzögert, da BFA hygroskopisch reagiert /KUN 98/. Möglicherweise wird beim Durchströmen von BFA sogar eine chemische Bindung bewirkt, die zum Abbinden des alkalischen Materials führt. Beleg dafür ist die im Endlager Morsleben gemessene Verteilung der Tritiumspezies im Resthohlraum einer mit BFA versetzten Einlagerungskammer. Hierbei wurde ein HTO-Anteil an der gesamten Tritiumaktivität der Hohlraumatmosphäre von weniger als 1 % gemessen, obwohl wie in Abschnitt 5.1.1 dargestellt fast 90 % des Tritiums als HTO eingelagert wurden. Dies entspricht einer HTO-Rückhaltung in BFA von fast 99,9 %, wenn man annimmt, dass keine Umwandlung von HTO in HT stattgefunden hat und HT keine Rückhaltung erfährt.

Das nicht als HTO im Abfall vorliegende Tritium ist nicht näher spezifiziert. Nimmt man an, dass es als HT oder in vergleichbar wenig reaktionsfreudiger Form in die Atmosphäre des Resthohlraumes gelangt, tritt, wie verschiedene Untersuchungen gezeigt haben, nur geringe

Rückhaltung oder Verzögerung ein /BEY 87/, /BEY 89/. Da in der Praxis selbst bei diesen Abfällen die Tritiumfreisetzung überwiegend als HTO erfolgt (s.o.), ist die Berücksichtigung einer Rückhaltung auch in diesem Falle gerechtfertigt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die aus der Praxis abgeleiteten Rückhaltefaktoren für Tritium im Versatz deutlich höhere Werte liefern im Vergleich zu den entsprechenden Rückhaltefaktoren, die in der Sicherheitsanalyse des bestimmungsgemäßen Einlagerungsbetriebes unterstellt wurden. Die in der Sicherheitsanalyse angenommene Reduktion der Tritiumfreisetzungsrate um einen Faktor 10 nach Versetzen der Abfälle kann somit als konservativ angesehen werden. In der Praxis ermittelte Werte liegen etwa einen weiteren Faktor 10 tiefer.

5.3.1.2 Kohlenstoff-14 (C-14)

C-14 wird in den Abfällen in verschiedenen Spezies angetroffen. Da eine detailliertere Verteilung für ein konkretes Abfallgebinde im Allgemeinen nicht verfügbar ist, wurde in der Sicherheitsanalyse des bestimmungsgemäßen Einlagerungsbetriebes nur zwischen zwei Formen unterschieden. Zum einen wird die chemische Form des C-14 nicht näher spezifiziert. Dieser Anteil wird dem C-14 in organischer Form gemäß Tabelle 5-4 zugeordnet, da dieser potenziell die höchste Flüchtigkeit aufweist. Hierfür werden entsprechend konservativ gewählte abdeckende Freisetzungsraten unterstellt.

Zum anderen ist aufgrund der vorangegangenen Konditionierung bei den Verdampferkonzentraten (EDR) offensichtlich, dass nur eine geringe Flüchtigkeit vorliegen kann, da höher flüchtige Verbindungen bereits beim Verdampfen aus dem Abfall entweichen. Aus diesem Grunde wird hierfür eine um den Faktor 10 verringerte Freisetzung aus dem Abfall unterstellt. Der im Verdampferkonzentrat verbleibende Anteil von C-14 liegt überwiegend als Karbonat, d. h. in anorganischer Form vor. Entsprechend wird die Zuordnung zur chemischen Speziation anorganisch in Tabelle 5-4 vorgenommen.

Das freigesetzte C-14 wird in der Atmosphäre der umgebenden Resthohlräume als CO_2 oder in organisch gebundener Form (überwiegend Methan) angetroffen. Die Verteilung auf beide Formen variiert mit der Zeit. Verantwortlich hierfür ist der Erzeugungsmechanismus durch mikrobielle Zersetzung, der bei Anwesenheit von Sauerstoff (aerob) die Bildung von CO_2 bevorzugt, während in anaerobem Milieu, das sich im Laufe der Zeit einstellt, Methan und höhere Kohlenwasserstoffe zunehmend zur C-14-Bildung beitragen. Ein Unterschied in der Verteilung auf CO_2 und die Kohlenwasserstoffe in Abhängigkeit von den Spezies, in der C-14 im Abfall vorliegt, ist nicht bekannt.

Für die Stilllegungsphase kann bis zum Einbringen der Abdichtungen von weitgehend aeroben Verhältnissen ausgegangen werden, so dass CO_2 die dominierende Fraktion der freigesetzten C-14-Aktivität darstellt. Eine Verzögerung von C-14-haltigen Gasen ($^{14}CO_2$, ^{14}CO, $^{14}CH_4$) wurde in Salzgrus als Versatzmaterial nicht beobachtet /BEY 89/. Hingegen wurde an Eisenerz und Nebengestein ein Retardationsfaktor von CO_2 gemessen, der vom Karbonatgehalt des Versatzmaterials abhing. Für das ERAM kann ein solcher Effekt für CO_2 in der BFA erwartet werden. Ein Hinweis ergibt sich daraus, dass $^{14}CO_2$ in der Atmosphäre von mit Filterasche versetzten Einlagerungskammern im ERAM nur mit einem Anteil von rund 70 % gemessenen wurde. Vergleichbare Werte aus der Asse (Salzgrusversatz) liegen bei etwa

90 %, aus dem ERAM insgesamt bei über 95 % /KUN 98/. Für die Verhältnisse des ERAM kann aus den Messungen der C-14-Konzentration in den einzelnen Einlagerungsbereichen ein Rückhaltefaktor von 10 bis 100 in BFA abgeleitet werden. Für weitere Betrachtungen wird konservativ ein Wert von 10 angesetzt.

In der Sicherheitsanalyse des bestimmungsgemäßen Einlagerungsbetriebes für das Endlager Morsleben wurde von diesem Effekt bislang kein Kredit genommen, sondern es wurden für offene und versetzte Abfälle gleiche Freisetzungsraten verwendet.

5.3.1.3 Radon-222 (Rn-222)

Eine Rückhaltung von Rn-222 ist nur infolge einer Verzögerung beim Transport in die Umgebung und dem radioaktiven Zerfall während dieser Zeit zu erwarten. Eine detaillierte Betrachtung hierzu findet sich in /ALK 06/.

5.3.2 Technische Barrieren

Gemäß Dauerbetriebsgenehmigung /STA 86/ werden die Einlagerungsgrubenbaue nach ihrer Befüllung mit radioaktiven Abfällen und dem Versetzen der Abfälle durch Abmauerungen von den übrigen Bereichen des Endlagers abgetrennt. Diese Abmauerungen sind nicht als gasdicht vorgesehen. Transportvorgänge von radioaktiven Stoffen in flüchtiger chemischer Form aus den Einlagerungsgrubenbauen durch die Abschlüsse bzw. Abmauerungen in den offenen Grubenbereich sind deswegen auch im bestimmungsgemäßen Stilllegungsbetrieb vorhanden.

Erst nach einem allseitigen Verschließen durch Barrieren aus Salzbeton oder anderen geeigneten Materialien ist eine Freisetzung flüchtiger radioaktiver Stoffe aus den Einlagerungsgrubenbauen und den Funktionsräumen in die Grubenwetter nicht mehr gegeben. Der Salzbeton stellt in dem für einen allseitigen Verschluss von Einlagerungsgrubenbauen und Funktionsräumen vorgesehenem Verfüllgrad eine höherwertige Barriere dar, als die gemäß Dauerbetriebsgenehmigung /STA 86/ vorgesehenen Barrieren (Abmauerungen und Überdeckung mit Braunkohlenfilterasche und Salzgrus als Versatzmaterial). Eine derartige Barriere aus Salzbeton (die den Anforderungen an eine Abdichtung oder temporäre Abdichtung nicht zu genügen braucht) sowie technische Barrieren aus anderen geeigneten Materialien unterbinden die Ableitung flüchtiger radioaktiver Stoffe. Ein allseitiger Verschluss eines Einlagerungsgrubenbaus oder Funktionsraums durch Barrieren aus Salzbeton oder anderen geeigneten Materialien gewährleistet demnach eine ausreichende Schadensvorsorge im bestimmungsgemäßen Stilllegungsbetrieb einschließlich anomaler Betriebszustände. Daher wird von allseitigen Verschlüssen der Einlagerungsgrubenbaue und Funktionsräume durch Barrieren aus Salzbeton oder anderen geeigneten Materialien insoweit Kredit genommen.

5.4 Modellierung des Radionuklidtransports aus den Einla gerungsbereichen in bewetterte Grubenbereiche

Für den Zeitraum der Stilllegungsphase wurde die Freisetzung flüchtiger radioaktiver Stoffe aus den Einlagerungshohlräumen in den offenen Grubenbereich vor dem Einbringen der Abdichtungen mittels geeigneter Rechenmodelle ermittelt /LOR 00/. Bei der rechnerischen

Beschreibung der zeitlichen Entwicklung der Freisetzung flüchtiger radioaktiver Stoffe aus den Einlagerungshohlräumen wurden durch Parametervariation die Permeabilität der Abmauerungen, die Gasbildungsrate sowie Amplitude und Dauer von Druckschwankungen variiert.

Die Berechnungen wurden für alle Einlagerungsbereiche getrennt durchgeführt. Dabei wurde abweichend vom zeitlichen Ablauf gemäß der Verfüllplanung, nach dem alle Einlagerungsbereiche bereits nach vier Jahren verfüllt sind, fiktiv angenommen, dass diese mindestens bis zu dem Zeitpunkt Radionuklide in den offenen Grubenbereich und die Wetter freisetzen können, an dem rechnerisch eine maximale Freisetzung ermittelt wird. Die damit ermittelten maximalen Ableitungen sind konservativ. Sie überschätzen die während des geplanten Stilllegungsablaufs zu erwartenden Werte. Als Ergebnis der Modellrechnungen wird der zeitliche Verlauf der Freisetzung für einen repräsentativen Basisfall sowie für die ungünstigste Kombination der Eingangsparameter als „Worst Case“ ermittelt. Abbildung 5-1 zeigt ein typisches Ergebnis am Beispiel der Tritiumfreisetzung aus dem Westfeld 1. Die Schwankungsbreite der dargestellten Freisetzungsrate für die durch verschiedene Farben gekennzeichneten Rechenfälle spiegelt die periodische Druckrandbedingung zur Simulation atmosphärischer Druckschwankungen wider. Man erkennt, dass ein Maximum der Tritiumfreisetzung erst 23 Jahre nach Abschluss des Einlagerungsbereichs auftreten würde. Zu diesem Zeitpunkt würde die Tritiumfreisetzung aus dem Einlagerungsbereich etwa ein Drittel der Tritiumfreisetzung aus dem Abfall betragen.

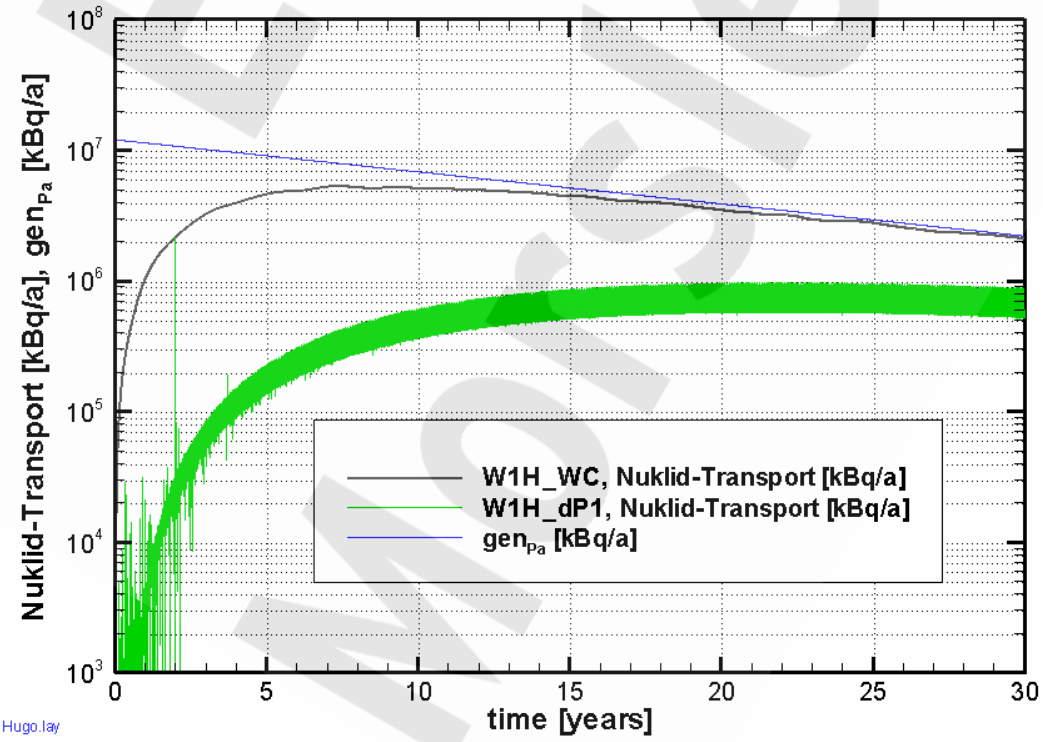

Bild 5-1 Tritiumfreisetzung aus dem Westfeld 1 nach Versetzen und Verschluss des Einlagerungsbereichs (Grün: Basisfall, schwarz: Worst Case, blau: Tritiumfreisetzung aus dem Abfall)

Tabelle 5-12 führt für alle Einlagerungsbereiche die rechnerisch ermittelte maximale Tritium- und C-14-Ableitung pro Jahr mit den Abwettern im Basisfall auf. Man erkennt, dass diese Maxima für die einzelnen Einlagerungsbereiche und für beide Radionuklide zu unterschiedlichen Zeiten und bis auf das Südfeld erst nach dem Verfüllen der Einlagerungsbereiche auftreten würden. Addiert man dennoch die ermittelten Maxima, so erhält man die in der letzten Zeile von Tabelle 5-12 wiedergegebenen Summenwerte, die eine konservative Obergrenzenabschätzung der tatsächlich erwarteten jährlichen Ableitung darstellen.

5.5 Freisetzung flüchtiger Radionuklide und Aerosole in die Abwetter

Gelangen flüchtige radioaktive Stoffe in den bewetterten Grubenbereich, werden diese mit den Abwettern abgeleitet. Wie groß dieser Anteil im Vergleich zu der gesamten eingelagerten Aktivität flüchtiger radioaktiver Stoffe ist, wird durch relative Freisetzungsraten beschrieben. Bei der Angabe von Freisetzungsraten ist dabei zwischen der "primären" Freisetzung aus den Abfallgebinden in den porösen Versatz, der sich anschließenden weiteren Freisetzung aus dem Versatz in offene Resthohlräume der Einlagerungsbereiche und der Freisetzung aus den Einlagerungsbereichen in das offene Grubengebäude zu unterscheiden.

Tabelle 5-12: Rechnerisch ermittelte maximale jährliche Ableitungen von Tritium und C-14 mit den Abwettern aus den einzelnen Einlagerungsbereichen

Einlagerungsbereich	H-3		C-14	
	Zeitpunkt in Jahren	maximale Ableitung in Bq/a	Zeitpunkt in Jahren	maximale Ableitung in Bq/a
Westfeld 1	23	$7{,}00\times10^{08}$	30	$1{,}10\times10^{08}$
Westfeld 2	10	$3{,}60\times10^{09}$	10	$1{,}20\times10^{08}$
Ostfeld, Abbau 2	9	$9{,}00\times10^{08}$	9	$1{,}20\times10^{08}$
Südfeld gesamt	4	$8{,}00\times10^{09}$	4	$2{,}29\times10^{09}$
Nordfeld	8	$3{,}50\times10^{10}$	12	$5{,}80\times10^{07}$
Summe		$\mathbf{4{,}8\times10^{10}}$		$\mathbf{2{,}7\times10^{09}}$

Die maximal mögliche Freisetzung ergibt sich vor dem Versetzen der Abfälle und dem Abschluss der Einlagerungshohlräume. Sie ist geringer, als die in Tabelle 5-12 angegebene rechnerisch ermittelte maximale Freisetzung. Die aus den Abfallgebinden freigesetzten flüchtigen radioaktiven Stoffe gelangen aufgrund fehlender Rückhaltung sofort in die Abwetter und werden mit diesen im Stilllegungsbetrieb über Schacht Bartensleben und Schacht Marie abgeleitet. Somit ist die Freisetzungsrate, die für die Freisetzung flüchtiger radioaktiver Stoffe aus den Abfallgebinden angegeben wird, als eine Obergrenze für die Bestimmung der Aktivitätsableitung anzusehen.

Durch Versetzen der Abfälle und Abschluss der Einlagerungshohlräume werden die aus den Abfällen freigesetzten flüchtigen radioaktiven Stoffe zurückgehalten bzw. verzögert freigesetzt. Die Freisetzungsrate, die den Transport aus dem versetzten, abgeschlossenen Einlagerungshohlraum beschreibt, ist somit immer kleiner als die Freisetzungsrate, die die Freisetzung aus dem Abfall angibt.

Die Freisetzungsraten, die in Kapitel 5.2 unter Verwendung der gemessenen Aktivitätsableitungen bestimmt wurden, sind als mittlere Freisetzungsraten anzusehen, die zwischen den Freisetzungsraten aus dem Abfallgebinde und den Freisetzungsraten für vollständig versetzte und abgeschlossene Einlagerungshohlräume liegen.

Bei dem Verfahren in Kapitel 5.2 wurde über alle Einlagerungshohlräume gemittelt. Für den in Kapitel 5.2 betrachteten Zeitraum wurden somit Freisetzungsraten bestimmt, die teilweise unversetzte Abfälle, nicht vollständig versetzte Einlagerungshohlräume und teilweise noch nicht abgeschlossene Einlagerungshohlräume einschließen. Die tatsächlichen Freisetzungsraten für die Freisetzung flüchtiger radioaktiver Stoffe aus den Einlagerungshohlräumen in das offene Grubengebäude im bestimmungsgemäßen Betrieb während der Stilllegungsphase sind niedriger anzusetzen, weil zu Beginn der Umrüstphase die eingelagerten Abfälle weitgehend versetzt und die Einlagerungshohlräume gemäß Dauerbetriebsgenehmigung /STA 86/ weitgehend abgeschlossen sind.

Vor diesem Hintergrund erfolgt die Ermittlung der Erwartungswerte der Ableitung flüchtiger Radionuklide mit Ausnahme von Rn-222 gemäß folgender Vorgehensweise:

- Es werden die kammerspezifischen Aktivitätsinventare zu Grunde gelegt, die in Kapitel 5.1 zusammengestellt sind.
- Für die Freisetzungsraten aus dem Abfall werden die in Kapitel 5.1 spezifizierten chemischen Formen verwendet.
- Die Rückhaltung im Versatz der Einlagerungskammern wird nur für Braunkohlefilterasche, jedoch nicht für andere Versatzmaterialien, unterstellt.
- Derzeit werden die Abwetter aus den Einlagerungsbereichen über die Lutten in Schacht Bartensleben abgeleitet. In der Stilllegungsphase erfolgt die Abwetterführung des West- und Südfelds über die Lutten im Schacht Bartensleben, die des Nord- und Ostfeldes über Schacht Marie. Dieser Sachverhalt wird für die Prognose der Ableitungen für die beiden Schächte berücksichtigt.
- Wie die in Kapitel 5.2 aufgeführten Ableitungen der Jahre 1999 bis 2002 zeigen, findet bereits jetzt eine Ableitung von flüchtigen Radionukliden über den Schacht Marie statt. Diese Ableitung stammt aus abgemauerten Einlagerungsbereichen, insbesondere aus dem Nordfeld. Es wird davon ausgegangen, dass diese Wetterwege auch in der Stilllegungsphase bestehen bleiben. Die derzeit beobachteten Aktivitätsableitungen über Schacht Marie werden daher den rechnerisch ermittelten Ableitungen für den Schacht Marie zugeschlagen.

5.5.1 Freisetzungsrate für Tritium im bestimmungsgemäßen Betrieb während der Stilllegungsphase

Für unspezifiziertes Tritium wird die auf Erfahrungswerten beruhende Obergrenze der Freisetzungsrate von 0,05 a^{-1} verwendet (vgl. Kapitel 5.2). Es wird kein Zuschlag für radiolytische Bildung flüchtiger Tritiumspezies vorgenommen, da es an den notwendigen Aktivitätskonzentrationen in den Abfällen fehlt (vgl. Kapitel 5.2) und die bisherigen Messungen und Rechnungen erwarten lassen, dass ein eventueller Beitrag durch die verwendete Obergrenze abgedeckt ist.

Für Tritium in Form von HTO wird eine Freisetzungsrate von 0,01 a^{-1} abgeschätzt. Sie beruht auf der Tatsache, dass für HTO geringere Freisetzungsraten als für andere flüchtige Formen von Tritium beobachtet wurden, sowie auf den gemessenen Freisetzungsraten im ERAM /KUN 98/.

Wie in Kapitel 5.3.1.1 dargestellt, erfolgt die Freisetzung von Tritium zumeist als HTO, selbst wenn es in einer anderen chemischen Spezies im Abfall vorliegt. Für HTO wird eine effektive Rückhaltung in Braunkohlefilterasche festgestellt. Konservativ wird hierfür ein Faktor 10 angesetzt.

5.5.2 Freisetzungsrate für Kohlenstoff-14 im bestimmungsgemäßen Betrieb während der Stilllegungsphase

Die Freisetzungsraten für C-14 liegen durchweg deutlich niedriger als die vergleichbarer Spezies bei Tritium. Aus den in Kapitel 5.2 abgeleiteten pauschalen Freisetzungsraten sowie den Beobachtungen für einzelne Einlagerungsfelder lässt sich ableiten, dass eine Freisetzungsrate von 0,01 a^{-1} eine Obergrenze für die in Frage kommenden chemischen Spezies darstellt. Für Verdampferkonzentrate wird auf Grund der Vorbehandlung eine um den Faktor 10 reduzierte Freisetzungsrate angesetzt.

Auch für C-14 kann eine wirksame Rückhaltung in Braunkohlefilterasche festgestellt werden. Ein Vergleich von gemessenen Freisetzungsraten in Einlagerungsfeldern mit und ohne Braunkohlefilterascheversatz ergibt eine Rückhaltung mit einem Faktor 10 bis 100. Konservativ wird auch hier ein Rückhaltefaktor 10 zu Grunde gelegt.

5.5.3 Freisetzungsrate für Radon-222 und Abschätzung der Blei-210-Ableitung im bestimmungsgemäßen Betrieb während der Stilllegungsphase

In den Abwetterstrecken des ERAM und im Grubengebäude Marie wurden Messungen der Rn-222-Konzentrationen durchgeführt. In /ALK 06/ wird ein Zusammenhang zwischen den gemessenen Radonkonzentrationen in Folge der Freisetzung aus den Abfällen und der Rn-222-Exhalation aus untertätig vorhandenen Materialen wie z. B. Betoneinbauten oder Versatz hergestellt und durch ein Modell beschrieben. Die Modellierung erfolgt mit einem Excel-Programm und berücksichtigt den Einfluss der Wettergeschwindigkeiten bzw. Wettervolumenströme. Das Programm wurde kalibriert, indem die Messwerte mit den Rn-222-Freisetzungsraten abgeglichen werden, die sich aus den Angaben zum Ra-226-Aktivitätsinventar in den Einlagerungsbereichen ergeben.

Durch den radioaktiven Zerfall des Rn-222 innerhalb des Grubengebäudes mit einer Halbwertszeit von 3,8 Tagen entstehen die kurzlebigen Radonfolgeprodukte und die langlebigen Tochternuklide Pb-210 und Po-210. Die Aktivitätskonzentration der Radonfolgeprodukte in den Abwettern hängt von der mittleren Aufenthaltszeit der Wetterströme ab. Die Radonfolgeprodukte werden mit den Abwettern als Aerosole abgeleitet. Das Rn-222 und seine Folgeprodukte sind in der Umgebungsluft vorhanden und werden daher zu einem Teil bereits mit den Frischwettern eingezogen. Bei der Bilanzierung von Rn-222 und Pb-210 für die maximal zu erwartenden Ableitungen wird der mit den Frischwettern eingezogene Anteil nicht berücksichtigt /ALK 06/.

Zur Stilllegung des ERAM werden die untertägigen Bereiche sukzessive mit Salzbeton verfüllt (versetzt). Aus dem Versatzmaterial wird ebenfalls Rn-222 freigesetzt. Zur Bestimmung der zusätzlichen Ableitung von Rn-222 aus dem Versatzmaterial während der Verfüllung sind deshalb ebenfalls Rechnungen durchgeführt worden. Die konservativ berechnete zusätzliche Ableitung von < 5×10^{10} Bq/a ist in Tabelle 5-13 berücksichtigt.

Das mit Hilfe von Messdaten kalibrierte Modell wird für die Prognose der Freisetzung von Rn-222 und seinem Folgeprodukt Pb-210 während des Stilllegungsbetriebs verwendet. Die Aktivitätskonzentrationen und –flüsse von Rn-222 und Pb-210 für die Kalibrierung wurden basierend auf den in /IBA 03/ zusammengefassten Messwerten ermittelt.

Die Pb-210-Aktivität kann aus der Konzentration des Rn-222 in den Wettern und der Aufenthaltszeit berechnet werden. Die dazu erforderliche mittlere Aufenthaltszeit der Wetter wurde basierend auf den gemessenen Aktivitäten von Rn-222 und seinem Folgeprodukt Pb-210 mit der folgenden Gleichung zu ca. 1 Tag abgeschätzt:

$$N_T = \frac{N_{P0}\lambda_P}{\lambda_T - \lambda_P}(e^{-\lambda_P t} - e^{-\lambda_T t}) \qquad (8\text{-}1)$$

In der Gleichung sind λ Zerfallkonstante, $N \times \lambda$ Aktivität und t Aufenthaltszeit. Die Indizes P und T sind als die Bezeichnungen von Mutter (parent) und Tochter verwendet.

Das in der Folge aus dem Zerfall von Pb-210 gebildete Po-210 zerfällt seinerseits mit einer Halbwertszeit von 138 Tagen. Selbst bei Vernachlässigung der Vorlaufzeiten für den Zerfall von Rn-222 und Pb-210 bedeutet das bei einer Aufenthaltszeit von einem Tag eine Reduktion des Po-210-Quellterms im Vergleich zum Pb-210 um einen Faktor 0,005. Die daraus resultierende Ableitung ist radiologisch unbedeutend.

Bei der Ermittlung der Quellterme werden die Anteile des Rn-222- und Pb-210-Flusses, die aus den Frischwettern und aus dem Grubengebäude Marie stammen, nicht berücksichtigt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5-13 zusammengefasst.

Der Rn-222-Quellterm aus der 2. und 3. Sohle für einen Tag Aufenthaltszeit während der Stilllegung wird für Schacht Marie mit ca. $6{,}30\times10^{9}$ Bq a^{-1} abgeschätzt. Der entsprechende Quellterm für Schacht Bartensleben ergibt sich mit ca. $9{,}40\times10^{9}$ Bq a^{-1}.

Die Rn-222-Ableitung aus Schacht Marie einschließlich der Anteile aus den Frischwettern und dem Grubengebäude Marie wird zu ca. $4{,}67\times10^{10}$ Bq a^{-1} ermittelt. Die Ableitung aus

Schacht Bartensleben einschließlich Frischwetteranteil ergibt sich mit ca. $1{,}28\times10^{10}$ Bq a^{-1}. Die Gesamt-Rn-222-Ableitung aus den Schächten Bartensleben und Marie wird zu ca. $5{,}95\times10^{10}$ Bq a^{-1} berechnet. Davon stammen ca. $2{,}59\times10^{10}$ Bq a^{-1} (44 %) aus den Frischwettern.

Für einen Tag Aufenthaltszeit wird ein Pb-210-Quellterm aus der 2. und 3. Sohle (abzüglich Pb-210 aus den Frischwettern) von $5{,}10\times10^{5}$ Bq a^{-1} für Schacht Marie und von $8{,}40\times10^{5}$ Bq a^{-1} für Schacht Bartensleben bestimmt. Die Summe der Pb-210-Quellterme aus den Schächten Bartensleben und Marie ergibt sich rechnerisch zu $1{,}35\times10^{6}$ Bq a^{-1}.

Einschließlich der Frischwetter ergibt sich eine Pb-210-Ableitung von ca. $4{,}84\text{x}10^{6}$ Bq/a. Die berechnete Pb-210-Ableitung verteilt sich zu $1{,}29\text{x}10^{6}$ Bq/a auf Schacht Bartensleben und zu $3{,}55\text{x}10^{6}$ Bq/a auf Schacht Marie.

Eine Sonderrolle nimmt das im Ostfeld lagernde Radiumfass ein. Das Fass enthält acht verschweißte Spezialcontainer mit Radium-Strahlenquellen. Es ist mit einer umgebenden VBA in einem Sohlenbohrloch eingelagert, das durch einen 30 cm starken Betondeckel mit Gummidichtung abgeschlossen ist. Unter diesen Randbedingungen ist im bestimmungsgemäßen Betrieb während der Stilllegungsphase daher keine Freisetzung von Rn-222 zu erwarten. Allerdings haben Messungen gezeigt /KUN 00/, dass eine geringe äußere Kontamination zu einer Rn-222-Freisetzung von der Gebindeoberfläche von < 500 Bq/h ($4{,}4\times10^{6}$ Bq/a) führt. Der Betondeckel bewirkt alleine eine Reduktion der Freisetzung in die Abwetter um den Faktor 1000 bei einem Diffusionskoeffizienten von $3{,}4\times10^{-5}$ cm^2/s /BRU 85/. Die verbleibende Freisetzungsrate von 4.400 Bq/a ist radiologisch unbedeutend. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass der Einlagerungsbereich abgemauert ist und nicht bewettert wird.

5.5.4 Freisetzungsrate für Aerosole im bestimmungsgemäßen Betrieb während der Stilllegungsphase

5.5.4.1 Erfahrungen

Aerosolmesswerte in den Abwettern des ERAM oberhalb der Erkennungsgrenze liegen fast ausschließlich für einige Folgeprodukte des Rn-222 vor. Frühere Zuordnungen, wie z. B. kurzlebige und langlebige Aerosole, ändern nichts an dieser Feststellung, sondern ordnen die gemessenen Radon-Folgeprodukte nur bestimmten Kategorien zu.

Die Betriebserfahrung lässt ferner erkennen, dass bei der früher praktizierten in-situ-Verfestigung ein Anstieg der vor Ort messbaren Aerosolaktivität erfolgte. Wegen der Einstellung dieses Verfestigungsverfahrens spielen derartige Effekte für die Stilllegungsphase keine Rolle mehr.

5.5.4.2 Vorgehensweise in Planfeststellungsverfahren

In der Sicherheitsanalyse für den bestimmungsgemäßen Einlagerungsbetrieb des ERAM wie auch im Planfeststellungsverfahren Konrad wurden Freisetzungsraten für β/γ- sowie für α-Aerosole abgeleitet. Eine Freisetzung von Aerosolen aus metallischen Feststoffen wurde

nicht unterstellt. Für die übrigen Abfallproduktgruppen wird ein Wert von 5×10^{-10} a^{-1} für β/γ-Aerosole bzw. von 5×10^{-12} a^{-1} für α-Aerosole ermittelt.

Als Freisetzungsrate für β/γ-Aerosole wird dabei ein Wert von 5×10^{-10} a^{-1}, für α-Aerosole von 5×10^{-12} a^{-1} aus sonstigen Abfallproduktgruppen bestimmt. Bei einer Restfeuchte von < 1 % im Abfallprodukt erniedrigt sich die o. g. Rate für β/γ-Aktivität auf den Wert für die α-Aktivität von 5×10^{-12} a^{-1}. Pu-241 als β/γ-Strahler wird bezüglich des Freisetzungsverhaltens wie ein α-Strahler behandelt.

Auf Grund der Konservativität der Abschätzung wird nachgewiesen, dass auch eventuelle Freisetzungen nicht fest haftender Kontaminationen bei der Handhabung von Abfallgebinden mit den Erwartungswerten abgedeckt sind.

5.5.4.3 Abschätzung der Aktivitätsableitung von Aerosolen mit den Abwettern

Trotz der bislang gegenläufigen Erfahrungen und Vorgehensweisen soll im Folgenden die Aktivitätsableitung durch β/γ-Aerosole abgeschätzt werden. Eine Ableitung für α-Aerosole erübrigt sich wegen der wesentlich geringeren Inventare und der um zwei Größenordnungen geringeren Freisetzungsrate im Vergleich zu β/γ-Aerosolen. Das gesamte Aktivitätsinventar der β/γ-Strahler ohne Radonfolgeprodukte im ERAM beträgt etwa $1{,}2\times10^{14}$ Bq. Dabei bleiben die in metallischer Form gebundenen Aktivitäten der Strahlenquellen im UMF und Pu-241 unberücksichtigt.

Mit einer Freisetzungsrate von 5×10^{-10} a^{-1} ergibt das einen Erwartungswert der Ableitung von β/γ-Aerosolen von 6.2×10^{4} Bq/a. Davon entfallen entsprechend ihrem Aktivitätsanteil auf

- Co-60 16 %
- Ni-63 14 %
- Sr-90 5 %
- Cs-137 63 %
- Rest 2 %.

Die hier abgeschätzten Freisetzungen gelten für erwartete Ableitungen während des bestimmungsgemäßen Einlagerungsbetriebes aus unversetzten Abfällen. Demgegenüber handelt es sich im zu betrachtenden Fall der Stilllegungsphase des ERAM um Ableitungen aus überwiegend versetzten Abfällen, die teilweise durch Abmauerungen von den offenen, bewetterten Grubenbauen abgetrennt sind. Daher sind selbst die geringen Ableitungswerte, die für β/γ-Aerosole abgeschätzt wurden, noch Obergrenzen. Es besteht daher aus fachlicher Sicht keine zwingende Notwendigkeit zur Festlegung von Antragswerten bzw. zur Angabe von Erwartungswerten für die Ableitung von β/γ-Aerosolen mit den Abwettern während des Stilllegungsbetriebs.

Eine Abschätzung des Beitrags der nicht fest haftenden Oberflächenkontamination zur Aerosolableitung analog zu der oben beschriebenen Vorgehensweise ist hier nicht möglich, da keine vergleichbar homogenen Oberflächen für Abfallgebinde als Träger der Kontamination

ERA Morsleben

zu betrachten sind. Allerdings lässt sich in umgekehrter Richtung ableiten, welche Fläche unter Ausnutzung der Grenzwerte des § 44 StrlSchV für den Kontrollbereich kontaminiert sein dürfte, um den ermittelten Erwartungswert der β/γ-Aerosolableitung zu erreichen. Mit der o. g. Radionuklidverteilung, den Grenzwerten des § 44 i. V. m. Anlage III Spalte 4 StrlSchV für den Kontrollbereich und einem konservativ abgeschätzten Resuspensionsfaktor von 10^{-6} erhält man eine zulässige Fläche von 42.000 m². Dies deckt mit hoher Wahrscheinlichkeit alle durch Resuspension verursachten Aktivitätsableitungen von β/γ-Strahlern ab.

5.6 Erwartungswerte der Aktivitätsableitung mit den Abw ettern im bestimmungsgemäßen Stilllegungsbetrieb

Mit der geschilderten Vorgehensweise auf der Grundlage der in Kapitel 5.1 dargestellten Aktivitätsinventare und der oben abgeleiteten Freisetzungsraten für den bestimmungsgemäßen Stilllegungsbetrieb ergeben sich die in Tabelle 5-13 zusammengestellten Erwartungswerte der Ableitung flüchtiger radioaktiver Stoffe mit den Abwettern. Die Werte beziehen sich auf den Zustand bei Planfeststellungsbeschluss, bei dem die Abfälle weitgehend versetzt und die Einlagerungshohlräume weitgehend abgemauert, aber noch keine Abdichtungen errichtet und wirksam sind.

Tabelle 5-13: Freisetzungsraten aus den Abfällen und Erwartungswerte der Ableitung flüchtiger radioaktiver Stoffe mit den Abwettern im bestimmungsgemäßen Betrieb während der Stilllegungsphase

Radionuklid	Inventar in Bq Bezugsdatum 30.06.05	Erwartungswerte der Aktivitätsableitung in Bq/a		
		Schacht Bartensleben	Schacht Marie	Gesamt
Tritium	$3{,}2\times10^{12}$	$2{,}5\times10^{9}$	$7{,}1\times10^{10}$	$7{,}35\times10^{10}$
C-14	$3{,}4\times10^{12}$	$2{,}2\times10^{9}$	$1{,}1\times10^{9}$	$3{,}30\times10^{9}$
Ra-226/Rn-222[a)]	$3{,}9\times10^{11}$	$9{,}4\times10^{9}$	$6{,}3\times10^{9}$	$1{,}57\times10^{10}$
Pb-210[b)]		$8{,}4\times10^{5}$	$5{,}1\times10^{5}$	$1{,}35\times10^{6}$
β/γ–Aerosole [c)]				6.2×10^{4}

a) Rn-222-Gas entsprechend einem Gleichgewichtsfaktor F = 1, ohne Anteile aus den Frischwettern und dem Grubengebäude Marie /ALK 06/

b) ohne Anteile aus den Frischwettern und dem Grubengebäude Marie , einschließlich Folgeprodukte

c) zur Information

Die in Tabelle 5-12 dargestellten Ergebnisse der unter den gleichen Randbedingungen durchgeführten Rechnungen weisen aus, dass die hier ermittelten Erwartungswerte die tatsächlichen Verhältnisse deutlich überschätzen, da sie die Verzögerung und Rückhaltung flüchtiger radioaktiver Stoffe während des Transports von den Einlagerungshohlräumen in die Grubenwetter vernachlässigen.

6 STRAHLENEXPOSITION DES PERSONALS

Die Strahlenexposition des Betriebspersonals resultierte in der Einlagerungsphase des ERAM aus der äußeren Bestrahlung im Strahlenfeld der radioaktiven Abfälle und aus der Inhalation von den aus dem Abfallprodukt in das Grubengebäude freigesetzten radioaktiven Stoffen (innere Strahlenexposition). In der Genehmigung zum Dauerbetrieb des ERAM wurden die betrieblichen Grenzwerte so festgelegt, dass für die äußere Strahlenexposition ein Wert von < 90 % und für die innere Strahlenexposition ein Wert von < 10 % des Dosisgrenzwertes der individuellen Strahlenexposition, effektive Dosis 50 mSv/a, gemäß § 49 StrlSchV in der Fassung der Bekanntmachung von 1989 für strahlenexponierte Personen der Kategorie A zugelassen ist. Die vorliegenden Jahresberichte zum Strahlenschutz des ERAM belegen, dass die Grenzwerte für die äußere und innere Strahlenexposition des ERAM-Personals in allen Betriebsjahren deutlich unterschritten wurden.

6.1 Strahlenexposition durch äußere Bestrahlung

6.1.1 Betriebserfahrungen

Als Ergebnis der Strahlenschutzüberwachung im ERAM kann festgestellt werden /DBE 98ff./, dass nach Abschluss und Versetzen von Einlagerungshohlräumen Ortsdosisleistungen von < 1 μSv/h in begehbaren Bereichen gemessen werden. Zur Senkung der Ortsdosisleistungswerte in diesen Bereichen wurden bevorzugt die Abschirmwirkung von Abfallgebinden mit niedrigem Aktivitätsinventar und/oder ein hinreichend großer Abstand zwischen dem Abschluss und dem Gebindestapel gewählt.

Die im Einlagerungsbereich des Südfeldes 1997/1998 gemessene mittlere Ortsdosisleistung von 25 μSv/h entsprach dem damaligen Betriebszustand. Die Ortsdosisleistung in diesem Bereich war im Vergleich zu den Werten, die in begehbaren Bereichen anderer Einlagerungsbereiche gemessen wurden, etwas höher und wurde durch teilweise unabgeschirmte/unversetzte Abfallgebinde und Strahlenquellen erzeugt.

Nach dem Versetzen der zur Strecke gerichteten Resthohlräume der Abbaue 1 und 2 reduzierte die Abschirmwirkung der erreichten Schichtdicke des Versatzstoffes die Ortsdosisleistung in der Strecke und auf der 4. Sohle über den Abbauen im Südfeld (Abschirmfaktor > 1×10^{03}) auf einen Wert << 1 μSv/h.

Durch Versetzen und Abschluss der Einlagerungshohlräume sind in begehbaren Bereichen, außer im Bereich der Konditionierungsanlage die Ortsdosisleistungen < 1 μSv/h. Überwiegend liegt die Ortsdosisleistung in den begehbaren Bereichen auf dem Niveau des natürlich

vorhandenen Untergrundpegels von ca. 0,1 µSv/h. Die Ergebnisse der Strahlenschutzüberwachung des ERAM-Personals sind in der Tab. 6-1 wiedergegeben.

Tabelle 6-1: Ergebnisse der Messungen der äußeren Strahlenexposition des Personals im ERAM (in mSv/a für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A)

Strahlenexposition	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
mittl. Personendosis	0,9	0	0,5	0,4	1,1	1,0	0,47	0,48	0,49	0,6	0
max. Personendosis	k.A.	0	k.A.	0,8	2,2	2,4	1,0	1,2	1,8	0,6	0
anlageninterner Grenzwert	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45

6.1.2 Schutzmaßnahmen

Im vorangegangenen Abschnitt wurde gezeigt, dass die Ortsdosisleistung im gesamten Grubengebäude außer im Bereich der Konditionierungsanlage unterhalb von 1 µSv/h, in den meisten Bereichen auf dem Niveau des natürlichen Untergrundpegels von ca. 0,1 µSv/h liegt. Im Bereich der Konditionierungsanlage ist für Orte, an denen kurzzeitige Arbeiten in Fassnähe durchgeführt werden, abdeckend mit einem Wert von ca. 70 µSv/h zu rechnen. Dies gilt auch für die Bereiche des Westfelds, in denen noch radioaktive (i. W. zementierte Flüssigabfälle und Bauschutt in 200-l-Fässern) und potenziell kontaminierte Eigenabfälle endgelagert werden sollen.

Bei einer jährlichen Aufenthaltszeit von 1400 h entsprechend den spezifischen Gegebenheiten des ERAM ergibt sich somit eine effektive Dosis infolge äußerer Bestrahlung von deutlich weniger als 1 mSv/a. Unter der Annahme, dass in der Konditionierungsanlage im Jahr ca. 100 Abfallgebinde hergestellt werden, ergibt sich gemäß den Unterlagen zur Genehmigung dieser Anlage bei einem Hantierungsaufwand von 0,5 h pro Abfallbehälter eine Individualdosis von etwa 1 mSv/a.

6.2 Strahlenexposition durch innere Bestrahlung

6.2.1 Betriebserfahrungen

Die Erfahrung aus dem Einlagerungsbetrieb zeigt, dass die rechnerischen Maximalwerte (vgl. Tabelle 6-2, Spalte 2) bereits unter den dort herrschenden Randbedingungen stets unterschritten wurden. Bei Rn-222 ist ein zusätzlich auftretender natürlicher Anteil von maximal ca. 0,2 Bq/m³, der aus den einzubringenden Versatz- und Baumaterialien freigesetzt wird, enthalten /ALK 06/.

Die während der Einlagerungsphase durchgeführten Messungen weisen aus, dass H-3 überwiegend in Form von H_2O (HTO) und weniger als H_2-Gas (HT) sowie C-14 überwiegend in Form von CO_2 und weniger in organischer Form auftritt. Für H-3 ist deshalb wegen der sehr geringen radiologischen Bedeutung des HT die Verwendung des Inhalationsdosisfaktors für HTO zulässig. Für C-14 ist die Annahme eines durchschnittlichen organischen Anteils von 20 % abdeckend.

6.2.2 Maßnahme n, Strahlenexpositionen

Die Aktivitätskonzentrationen in den Wettern der Tätigkeitsbereiche während der Umrüstungs- und Stilllegungsphase hängen stark von dem jeweils vorhandenen Wettervolumenstrom ab. Der Wettervolumenstrom bemisst sich nach Zahl und Leistung der unter Tage eingesetzten dieselbetriebenen Fahrzeuge. Unter diesen Randbedingungen können in einem untertägigen Tätigkeitsbereich im Jahresmittel höchstens die in Tabelle 6.2, Spalte 2, aufgeführten Werte erreicht werden.

Für Pb-210 wird die Konzentration am Abwetterschlot Marie herangezogen. Da die Pb-210-Konzentration beim Nuklidtransport mit den Wettern mit fortlaufender Pb-210-Bildung aus dem Zerfall von Rn-222 steigt, ergibt sich an diesem Punkt die maximale Pb-210-Aktivitätskonzentration innerhalb der Anlage. Sie ist damit für alle Konzentrationen an den Aufenthaltsorten des Personals abdeckend. Die jährlichen Pb-210-Ableitungen entstammen /ALK 06/. Aus der geringen Pb-210- Aktivitätskonzentration in Tabelle 6-2 wird deutlich, dass kein radiologisch relevanter Dosisbeitrag durch die Inhalation von Pb-210 für das Personal zu erwarten ist.

Tabelle 6-2: Maximalwerte der inneren Strahlenexposition des Personals

Radionuklid	Maximal im Jahresmittel zu erwartende Aktivitätskonzentration in den Tätigkeitsbereichen in Bq/m³	Maximalwert der effektiven Dosis des Personals durch innere Bestrahlung in mSv/a
H-3	1000	0,03 (100 % als HTO)
C-14	40	0,007 (80 % als CO_2, 20 % in organischer Form)
Rn-222	200	0,88
Pb-210	$3{,}4 \times 10^{-3}$	

Aus den in Tabelle 6-2, Spalte 2, angegebenen maximalen mittleren Aktivitätskonzentrationen in den untertägigen Tätigkeitsbereichen ergeben sich die in Spalte 3 angegebenen maximalen effektiven Dosen infolge Inhalation. Dabei wurde eine jährliche Arbeitszeit von 1400 h unter Tage und eine Atemrate von 1,2 m^3/h zu Grunde gelegt. Des Weiteren wurden

die amtlichen Dosiskoeffizienten für H-3, C-14 und der Dosiskoeffizient für Arbeitende für Rn-222 einschließlich Folgeprodukte gemäß EURATOM-Richtlinie 96/26 verwendet.

Untertägige Arbeiten in Bergwerken zählen gemäß Anlage XI zur StrlSchV zu Arbeitsfeldern, für die eine Abschätzung der Rn-222 – Exposition durchzuführen ist (§ 95 Abs. 1 StrlSchV). Diese Regelung ist für das ERAM nicht zur Anwendung vorgeschrieben. Sie wird hier als dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechende Vorgehensweise benutzt. Bei der Berechnung der effektiven Dosis durch Rn-222 und seine kurzlebigen Folgeprodukte für die Beschäftigten ist ein Gleichgewichtsfaktor von F = 0,4 zu Grunde gelegt. Der Gleichgewichtsfaktor F ist das Verhältnis der gleichgewichtsäquivalenten Aktivitätskonzentration der Radonfolgeprodukte zur Radonkonzentration. Der Dosiswert von 0,88 mSv/a durch Inhalation von Rn-222 einschließlich der Folgeprodukte ist – gemessen am Grenzwert für die effektive Dosis für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv/a oder am Interventionswert gemäß § 95 Abs. 2 StrlSchV von 6 mSv/a – als sehr gering einzustufen. Er entspricht der radonbedingten Inhalationsdosis, die auch außerhalb von Kontrollbereichen während der üblichen Arbeitszeit auftreten kann.

Von Bedeutung für die Aktivitätskonzentrationen in den Wettern der Tätigkeitsbereiche während der Umrüstungs- und Stilllegungsphase ist ferner eine mögliche Nachnutzung der Abwetter aus Einlagerungsgrubenbauen bzw. -bereichen zur Bewetterung von nachgelagerten Grubenbauen sowie die Möglichkeit einer unkontrollierten absaugenden Bewetterung.

Im ERAM werden die Abwetter aus den Einlagerungsbereichen Nordfeld, Zentralteil und Ostfeld sowie aus dem Untertagemessfeld zur Bewetterung der nachgelagerten Betriebsbereiche nachgenutzt. Der Einfluss dieser Wetterführung auf die Aktivitätskonzentrationen ist jedoch gering, da der Frischwetterstrom primär von der Leistung der unter Tage eingesetzten Dieselfahrzeuge abhängt. Zudem weisen die geringen erwarteten und die noch geringeren tatsächlich auftretenden Aktivitätskonzentrationen aus, dass sich aus der Nachnutzung keine radiologisch relevante Erhöhung der Strahlenexposition des Betriebspersonals infolge Inhalation ergibt.

Eine unkontrollierte saugende Bewetterung des Westfeldes hat in den Jahren 1995/96 zu einer Erhöhung der Tritiumableitungen geführt. Die erforderliche Schadensvorsorge erfolgt im Stilllegungsbetrieb durch eine solche Auslegung der Bewetterung, dass im Falle abwetterseitig aufgestellter Ventilatoren (Lüfter) eine hinreichende Frischwetterzufuhr eingestellt wird, um einen Unterdruck zu vermeiden, der zu einer unkontrollierten Absaugung der eingeschlossenen flüchtigen radioaktiven Stoffe führen würde. Damit wird eine unnötige Strahlenexposition des Personals und Freisetzung flüchtiger radioaktiver Stoffe vermieden.

7 SO NSTIGE AUSWIRKUNGEN

7.1 Anomale Betriebszustände während der Stilllegungsphase

Da ein Ausfall der Bewetterung oder der Stromversorgung während der Stilllegungsphase nicht ausgeschlossen wird, werden anomale Betriebszustände infolge derartiger Ausfälle und deren Einfluss auf die Ableitung radioaktiver Stoffe im Folgenden untersucht.

7.1.1 Übertägige r Betriebsbereich

Ein Ausfall der Stromversorgung im übertägigen Bereich beeinflusst nicht unmittelbar die im untertägigen Bereich endgelagerten Abfälle. Allerdings kann dabei die Bewetterung, wenn vom Stromversorgungsausfall betroffen, ebenfalls ausfallen. Ein Ausfall der Bewetterung beeinflusst jedoch nicht die Menge der abgeleiteten Radioaktivität, sondern bewirkt lediglich Konzentrationsänderungen in den Grubengebäuden sowie einen langsameren Transport in die Atmosphäre. Bei einem unterstellten Ausfall eines Hauptgrubenlüfters erhöhen sich die Aktivitätskonzentrationen in den Tätigkeitsbereichen kurzfristig.

Da die integrale Aktivitätsableitung mit den Abwettern durch den Ausfall der planmäßigen Bewetterung nicht beeinflusst wird, können sich lediglich zeitliche Schwankungen gegenüber der ungestörten Bewetterung ergeben. Derartige Schwankungen sind abgedeckt durch die Berücksichtigung der Luftschwankungen bei der Ermittlung der Erwartungswerte sowie durch die Spanne zwischen den ermittelten Erwartungswerten der Ableitung in diesem Bericht und in /ALK 06/ zu Grunde gelegten maximalen Ableitungen.

Ein weiterer anomaler Betriebsfall betrifft die Abwetterableitung am Schacht Marie. Zur Gewährleistung der Druckentlastung der Schachthalle Marie für bestimmte Betriebszustände mit Ventilatorausfall sind gemäß /DBE 06/ nach innen oder außen öffnende Druckentlastungsklappen in der Schachthalle vorgesehen, die eine Beschädigung des Gebäudes bei unzulässiger Druckbelastung verhindern. Durch Öffnung der freien Flächen dieser Klappen in der östlichen Gebäudewand der Schachthalle wird der Druckausgleich zur Atmosphäre hergestellt.

Der anomale Betriebsfall tritt ein, wenn über diese Druckentlastungsklappen eine bodennahe Freisetzung aus der Schachthalle Marie erfolgt. Als einzige Ursache hierfür wird der totale Ausfall der Ventilatoranlage am Schacht Marie über Tage (z. B. durch Stromausfall) bei einem Weiterbetrieb der Hauptventilatoranlagen in den 1. nördlichen Richtstrecken auf der 2. und auf der 3. Sohle genannt. Dadurch kommt es zum Überdruck in der Schachthalle Marie. Obwohl der Wetterweg über den Wetterkanal, die Ventilatoren und den Abwetterschlot weiterhin geöffnet bleibt, führt der Überdruck zu einem Auslösen der Druckentlastungsklappen mit Öffnung nach außen. Die Abwetter aus der Grube strömen außer über den Abwetterschlot somit auch bodennah über die Druckentlastungsklappen in die Atmosphäre. Diese Emissionen werden bei der Berechnung der Langzeitausbreitungs- und Ablagerungsfaktoren für den bestimmungsgemäßen Betrieb berücksichtigt.

Das Ereignis wird dem anomalen Betrieb zugerechnet, da es sich um eine Abgabe radioaktiver Stoffe aus der Anlage auf hierfür für den Normalbetrieb nicht vorgesehenen Wegen handelt, Vorsorge dagegen getroffen ist und einer Fortführung des Betriebes sicherheitstechnische Gründe nicht entgegenstehen.

In /GRS 06/ wird gezeigt, dass man verglichen mit den für die Emissionen aus dem Abluftkamin / Abwetterschlot berechneten Langzeit-Ausbreitungs- und Washoutfaktoren mit dieser Vorgehensweise an den ungünstigsten Einwirkungsstellen einen Beitrag zur Strahlenexposition von maximal 1 – 2 % erhält. Aufgrund dieses nur geringfügigen Beitrags des anomalen Betriebsfalls werden die bodennahen Emissionen über die Druckentlastungsklappen bei der

Berechnung der Langzeit-Ausbreitungs-, -Ablagerungs- und -Washoutfaktoren nicht berücksichtigt.

7.1.2 Bereich der Schachtförderanlage

Ein Ausfall der Stromversorgung der Schachtförderanlage beeinflusst nicht die Ableitung radioaktiver Stoffe. Transporte radioaktiver Stoffe über die Schachtförderanlage finden nicht statt.

7.1.3 Untertägige Betriebsbereiche

Ein Ausfall der Stromversorgung hat keinen Einfluss auf die eingelagerten radioaktiven Abfälle.

Transporte radioaktiver Stoffe (Betriebsabfälle) im untertägigen Bereich finden in begrenztem Umfang statt. Da die Transportfahrzeuge mit eigener Energieversorgung und Beleuchtung ausgestattet sind, bleiben sie von einem Ausfall der Stromversorgung unbeeinflusst.

Für das Personal untertage ist ein Ausfall der Bewetterung radiologisch nur dann von Bedeutung, wenn sich Personen in kontaminierten Abwettern aufhalten. Dies tritt aber nur in Sonderfällen auf, da keine Dauerarbeitsplätze in kontaminierten Abwettern vorgesehen sind. In diesen Sonderfällen kann das betroffene Personal kurzfristig benachrichtigt werden. Falls ein Ausfall der Bewetterung dies notwendig macht, verlässt es den Bereich der kontaminierten Abwetter. In den meisten Fällen stellt selbst bei einem solchen Ausfall eine kurzfristig erhöhte Aktivitätskonzentration kein Problem dar, da der Dosisbeitrag durch Inhalation selbst bei dauerndem Aufenthalt im ungestörten Abwetterstrom die Dosisgrenzwerte nur in sehr geringem Maße ausschöpft.

Beim Ausfall der Bewetterung bleibt die Absaugglocke der Konditionierungsanlage durch den Nachlauf der Lüfter noch begrenzte Zeit aktiv. Das Personal untertage wird von der übertägigen Betriebswarte angewiesen, den Betrieb der Konditionierungsanlage zu unterbrechen. Bei einer Unterbrechung des Konditionierungsbetriebes schließen sich alle Ventile selbsttätig und die Absaugglocke bleibt in Betriebsstellung. Es kommt zu keiner erhöhten Ableitung radioaktiver Stoffe. Die Raumluft wird ferner radiologisch überwacht.

In Abhängigkeit von der Außentemperatur ist die Schachtwetterheizung für die Wettermenge bestimmend. Bei einer selten vorkommenden auslegungsunterschreitenden Außentemperatur unterhalb -15°C wird die Wettermenge reduziert, um eine Frischwettertemperatur von +3°C am Schachtkopf zu gewährleisten. Die von den Dieselfahrzeugen abhängigen Arbeiten unter Tage werden eingeschränkt. Dieser anomale Betriebszustand hat keinen Einfluss auf die eingelagerten radioaktiven Abfälle. Infolge der reduzierten Frischwettermenge wird die Aktivitätskonzentration in den Abwettern unerheblich erhöht. Die Dosisgrenzwerte für das Personal, das sich in kontaminierten Abwettern aufhält, werden nur in sehr geringem Maße ausschöpft. Ein Ausfall der Schachtwetterheizung bei Außentemperaturen unterhalb +3°C wird als Ausfall der Bewetterung betrachtet.

Unterstellt man einen vollständigen Ausfall der Bewetterung, so steigt die Aktivitätskonzentration in den untertägigen Bereichen linear entsprechend der Freisetzungsrate des jeweiligen Radionuklids. Die maximalen Erwartungswerte der Ableitung für Tritium und C-14 aus den verschiedenen Einlagerungsbereichen sind in Tabelle 5-12 (H-3, C-14) bzw. Tabelle 5-13 (Rn-222) zusammengestellt. Für die Ermittlung der Auswirkungen stellt die Zusammenfassung des Südfelds und des Westfelds den ungünstigsten Fall dar, da deren Abwetter gemeinsam über den Schacht Bartensleben abgegeben werden.

Bei einer maximalen Räumungszeit von sechs Stunden, bis das Personal die Grube verlassen hat, akkumulieren mit den Raten der Tabellen 5-12 und 5-13 die in Tabelle 7-1 aufgeführte Aktivitäten. Diese Aktivitäten verteilen sich auf ein Hohlraumvolumen, das mindestens das Volumen der Einlagerungsbereiche (Westfeld, Südfeld) abzüglich des Abfallvolumens und des Versatzvolumens ausmacht. Damit ergeben sich die Tabelle 7-1 aufgeführten Konzentrationserhöhungen. Das Versatzvolumen wurde dabei konservativ über einen Porenanteil von 0,3 abgeschätzt. Ferner wurde berücksichtigt, dass auf Grund des linearen Anstiegs der Konzentration die mittlere Konzentrationserhöhung halb so groß ist wie der Endwert der Konzentrationserhöhung.

Tabelle 7-1: Erhöhung der Aktivitätszufuhr bei Totalausfall der Bewetterung

Radio-nuklid	Aktivitätsfreisetzung in einem Zeitraum von 6 h aus den Abfällen in Bq	Erhöhung der Aktivitätskonzentration in Bq/m³	Anteil in % der Jahresaktivitätszufuhr
H-3	$8{,}4 \times 10^{6}$	$1{,}7 \times 10^{2}$	<<0,1
C-14	$1{,}7 \times 10^{6}$	$3{,}4 \times 10^{1}$	<< 0,1
Rn-222	$1{,}4 \times 10^{7}$	$2{,}7 \times 10^{2}$	1

Mit einer Atemrate von 1,2 m³ pro Stunde führt dies zu einer Erhöhung der Aktivitätszufuhr durch Inhalation im Vergleich zu den Werten in Tabelle 6-2 von weniger als 1,1 % der Jahresaktivitätszufuhr bei dauerndem Aufenthalt.

In den Wettern der Einlagerungsgrubenbaue des Nordfeldes können sich in den unversetzten Resthohlräumen zwischen den eingelagerten Abfällen flüchtige radioaktive Stoffe akkumulieren, die verzögert durch die Abmauerungen der Einlagerungsgrubenbaue in die bewetterten Grubenbereiche gelangen. Die Akkumulation wurde in /LOR 00/ untersucht und es wurden abdeckende Inventare an flüchtigen radioaktiven Stoffen ermittelt. Im Einlagerungsgrubenbau des Streckentiefsten der Nordstrecke können sich demnach maximal $1{,}5 \times 10^{8}$ Bq C-14 in flüchtiger Form akkumulieren. In der vorderen Kammer des Einlagerungsgrubenbaus im nordöstlichen Querschlag können sich maximal $6{,}0 \times 10^{8}$ Bq C-14 in flüchtiger Form akkumulieren. Die analogen Inventare des maximal akkumulierten H-3 betragen ca. $4{,}5 \times 10^{9}$ bzw. $1{,}8 \times 10^{10}$ Bq.

Auch im Bremsberg ist eine Akkumulation flüchtiger radioaktiver Stoffe in den Wettern möglich. Diese gelangen in den Bremsberg durch die Abschlüsse zu den Einlagerungsgruben-

bauen des Westfeldes 1 und 2. In den Wettern des Bremsbergs können sich maximal $2{,}4\times10^{9}$ Bq C-14 und $7{,}1\times10^{10}$ Bq H-3 in flüchtiger Form akkumulieren. Abdeckend wird für diese Radionuklide eine Verteilung an allen betrachteten Orten von etwa 80% als $^{14}CO_2$ und 20% als $^{14}CH_4$ bzw. 100% als HTO angenommen. Bei einer unterstellten instantanen Freisetzung dieser Inventare liegen die resultierenden zusätzlichen Strahlenexpositionen bei weniger als 1,5 % der zulässigen Grenzwerte.

7.2 Auswirkung von Überschusslösungen

Zur Verfüllung von Resthohlräumen einschließlich einzelner Einlagerungsgrubenbaue wird Salzbeton eingesetzt. Während der Verfüllung und beim Abbinden des Salzbetons werden Überschusslösungen freigesetzt. Diese wässrigen Lösungen können durch die Schweben oder aus benachbarten Grubenbauen in Einlagerungsgrubenbaue sickern.

Das Durchsickern von Überschusslösungen in die Einlagerungsgrubenbaue oder das Einbringen von Salzbeton in die Einlagerungsgrubenbaue führt zum Kontakt der Überschusslösungen mit den Abfällen. Da das Auftreten einer flüssigen Phase in den Einlagerungsgrubenbauen hierbei nicht ausgeschlossen werden kann, wird davon ausgegangen, dass Auslaugung von in den Abfällen enthaltenen Radionukliden auftritt. Die dabei erzeugte kontaminierte Salzlösung wird auf nicht kontrollierte Weise seitwärts in Strecken und Grubenbaue oder soweit vorhanden in die Unterwerksbaue sickern.

Eine vergleichbare Situation lag bereits bei den offen stehenden Wässern auf der 7. Sohle vor. Die von der offenen Oberfläche freigesetzten flüchtigen radioaktiven Stoffe konnten bei Sonderbewetterung der Unterwerksbaue über wettertechnische Verbindungen in die offene Grubenatmosphäre gelangen und mit den übrigen Abwettern in die Umgebung abgeleitet werden. Eine Erhöhung der Konzentration flüchtiger radioaktiver Stoffe in den Wettern oder eine erhöhte Ableitung in die Umgebung durch die Wässer auf der 7. Sohle war in solchen Fällen nicht nachweisbar.

Bei der Verfüllung von Resthohlräumen fallen maximal 30 l Überschusslösung pro m^3 Salzbeton an. Zur Verfüllung der Grubenbaue des Südfeldes 4. Sohle werden beispielsweise maximal 40 000 m^3 Salzbeton eingebracht. Dies kann maximal 1200 m^3 Überschusslösung ergeben. Eine Teilmenge der Überschusslösung wird über ein Rollloch in den Abbau 1 im Bereich der 5a-Sohle abgeführt. Weitere Teilmengen können in die Unterwerksbaue über das Südgesenk B und andere undichte Wegsamkeiten gelangen. In den Einlagerungsgrubenbauen im Bereich der 5a-Sohle ist ausreichend Braunkohlenfilterasche als Versatzmaterial vorhanden (1 220 m^3 + ca. 5 500 m^3 im Abbau 1, 2 697 m^3 + ca. 7 000 m^3 im Abbau 2 und 16 110 m^3 im Abbau 3), um die anfallende Überschusslösung vollständig zu verfestigen.

Im Vergleich zu den Verhältnissen bei der 1998 angetroffenen offen stehenden Salzlösung auf der 7. Sohle ergeben sich für die Überschusslösungen im Bereich der 5a-Sohle günstigere Bedingungen, da die Überschusslösungen zum größten Teil in der Braunkohlenfilterasche gebunden werden, eine offene Flüssigkeitsoberfläche sich nicht ausbilden kann und keine Verbindungen zu bewetterten Bereichen bestehen. Eine radiologische Relevanz lässt sich daher noch weniger als bei der offen stehenden Salzlösung auf der 7. Sohle erkennen.

Eine Erhöhung der Strahlenexposition von Personal und Umgebung durch die Freisetzung flüchtiger Radionuklide aus eventuell offen stehenden Lösungen wird daher nicht erwartet.

Im bestimmungsgemäßen Stilllegungsbetrieb sind die flüchtigen Radionuklide H-3, C-14 und Rn-222 maßgebend für die Strahlenexposition von Personal und Umgebung. Die Auslaugung führt u.U. kurzfristig zu einer erhöhten Mobilität dieser Radionuklide (H-3, C-14) bzw. ihrer Mutternuklide (Ra-226). Der Abstrom durch Migration ins Liegende oder in die Unterwerksbaue bewirkt langfristig eine Reduktion des Quellterms für die Freisetzung aus den Abfällen.

Im Einzelnen erhält man folgendes Bild:

Die Freisetzungsrate von *Tritium* wird wie oben dargestellt mit einem Modell abgeleitet, das unter anderem von einer Verdampfung von Wasser aus Betonoberflächen ausgeht. Insofern wird keine höhere Mobilität erwartet.

Für *C-14* ergibt sich bei Einbringen von alkalischem Salzbeton eine höhere Löslichkeit in den Überschusslösungen. Sofern die Überschusslösungen durch Umlöseprozesse mit Salz gesättigt sind, stellen sich saure Verhältnisse (pH < 7) ein. In diesem Fall kann es zu einer vermehrten Freisetzung von $^{14}CO_2$ kommen. Diese Situation kann auftreten, wenn Einlagerungsbereiche mit Salzbeton verfüllt werden. Zu diesem Zeitpunkt tritt eine Dichtwirkung ein, die eine Freisetzung von flüchtigen C-14-Verbindungen wirkungsvoll verhindert. Umlöseprozesse und die damit verbundenen pH-Wert-Verschiebungen laufen demgegenüber deutlich langsamer ab. Sie haben daher keinen nennenswerten Einfluss auf die C-14-Freisetzung.

Die Auslaugung von *Ra-226* bewirkt selber keine höhere Flüchtigkeit von Rn-222 als Folgeprodukt.

Für alle diskutierten radioaktiven Stoffe kann beim Einbringen von Salzbeton in die Einlagerungsgrubenbaue kurzfristig das luftgetragene Inventar dieser radioaktiven Stoffe aus den Einlagerungsgrubenbauen verdrängt werden. Der einzige hiervon betroffene Einlagerungsbereich mit versetzten Abfällen, bei denen oberhalb der Abfälle ein großer Hohlraum besteht und mit nennenswerten Inventaren flüchtiger radioaktiver Stoffe ist der Abbau 2 im Ostfeld. Hier kann wegen des großen über den Abfällen vorhandenen Hohlraums und der direkten wettertechnischen Anbindung keine Akkumulation von derartigen Stoffen in der Resthohlraumatmosphäre auftreten. Daher kann es auch nicht zu einer verstärkten Freisetzung und Ableitung flüchtiger radioaktiver Stoffe mit den Abwettern kommen. In allen anderen Einlagerungsbereichen, die für die Freisetzung solcher Stoffe relevant sind, werden keine Einlagerungsgrubenbaue mit Salzbeton verfüllt.

Durch die Verfüllreihenfolge und hochwertige Barrieren aus Salzbeton oder anderen geeigneten Materialien (z. B. temporäre Abdichtungen) sowie gezielte Drainage in einem der Verfüllabschnitte (im Südfeld auf der 4. Sohle) wird verhindert, dass kontaminierte Überschusslösungen während der Stilllegungsbetriebsphase in noch begehbare Grubenbereiche gelangen. Eine zusätzliche Freisetzung von flüchtigen radioaktiven Stoffen in die Grubenwetter kann unter diesen Bedingungen ausgeschlossen werden.

Als anomaler Betrieb wäre in diesem Falle anzusehen, wenn beim Einbringen des Salzbetons ungewollt höhere Zuflussraten verursacht würden, wie z. B. das Überlaufen eines Sammelbehälters für Spül- oder Überschusslösungen oder eine aufgetretene Abweichung von der Rezeptur, die zu einer größeren Zuflussmenge führen würde, oder ein Zulauf von Überschusslösungen am unvorgesehenen Ort (über unvorgesehene Wegsamkeiten). In

diesem Fall wird durch lokale Wasserhaltung (als eine zu den obigen diversitäre sicherheitstechnische Vorsorgemaßnahme) die Freisetzung oder das Verschleppen von radioaktiven Stoffen vermieden.

7.3 Wirkung der Strahlung auf Salzgestein

Ionisierende Strahlung kann in Salzgestein verschiedene Auswirkungen hervorrufen, die abhängig sind von der Ortsdosisleistung, der aufgenommenen Dosis, der Temperatur sowie den Eigenschaften des Salzgesteins selber. Zu den möglichen Auswirkungen gehört:

- Die Zersetzung von Salzmolekülen unter Bildung von Fehlstellen im Kristallgitter bis zur Bildung von Natrium, Chlorradikalen und molekularem Chlorgas (Cl_2) und damit u.U. zu einer instabilen Energiespeicherung im Salz.
- Die Zersetzung von im Salz enthaltenen Nebenbestandteilen und Einschlüssen von Salzlösung unter Bildung von Gasen wie CO_2, CH_4 und H_2 sowie Säuren.
- Die Erhöhung der Temperatur des Salzes und in Verbindung damit eine erhöhte Freisetzung von Gasen sowie eine Beeinflussung des Kriech- und Konvergenzverhaltens.

Die Randbedingungen der Bestrahlung von Salz im ERAM lassen sich wie folgt charakterisieren:

- Die Dosis und die Dosisleistung im Bereich der schwach- und mittelradioaktiven Abfälle in den Einlagerungskammern ist so gering, dass die hierdurch bewirkte Gasbildung und Gasfreisetzung aus dem Salz des Wirtsgesteins um mehrere Größenordnungen unterhalb derjenigen durch konkurrierende Bildungsprozesse liegt. Unterstellt man beispielsweise eine Dosisleistung an der Oberfläche eines 200-l-Fasses von 1 Gy/h (~ Strahlenschutzgruppe S5), so resultiert daraus eine Gasbildung von ≤ 2 ml/a, falls das Fass vollständig von Salz bzw. Salzgrus umgeben ist. Dieser ohnehin schon konservativ abgeschätzte Wert reduziert sich um weitere ein bis zwei Größenordnungen, falls der Sauerstoff im Resthohlraum des Versatzes aufgebraucht ist und die Bestrahlung unter anaeroben Bedingungen erfolgt /PAL 91/. Temperaturerhöhungen, die für das plastische Verhalten des Salzes von Bedeutung sind, können unter diesen Umständen nicht auftreten.
- In den Bohrlöchern des UMF traten bis 1998 maximale Energiedosisleistungen von etwa 10 kGy/h in unmittelbarer Nähe der eingelagerten Spezialcontainer (hier: SC4) auf /BFS 00/. Derartige Dosisleistungen blieben allerdings auf die ersten Zentimeter Steinsalz in radialer Entfernung vom Salzrand beschränkt. Ferner klingen sie entsprechend der Halbwertszeit der eingelagerten Radionuklide ab. Infolge dieser Bestrahlung wurde bis 2005 eine maximale Energiedosis von 500 MGy aufgenommen. Für die Zeit nach 2005 wurde eine integrale Energiedosis von etwa 50 MGy berechnet, so dass sich dann insgesamt eine maximal aufgenommene Energiedosis von ca. 550 MGy ergibt. Die maximale Temperatur beträgt derzeit am Bohrlochrand nur noch wenige Kelvin (< 10 K) mehr als die Temperatur des ungestörten Gebirges (ca. 22 °C). Sie nimmt mit zunehmendem Abstand vom Bohrloch schnell ab.

Unter den genannten Randbedingungen ergeben sich für das ERAM folgende Schlussfolgerungen:

Die Zersetzung von Salzmolekülen führt zur Bildung von äußerst geringen Mengen an Cl_2, die sicherheitstechnisch nicht von Bedeutung sind. Die Speicherung von Energie durch die Bildung von Fehlstellen im Gitter der Salzkristalle erreicht auf geringem Niveau eine Sättigung, die selbst unter der Annahme einer spontanen Energiefreisetzung infolge einer Rekombination von Natrium und Chlor sicherheitstechnisch irrelevant ist /GAR 96/.

Die Gasbildung durch Radiolyse in Salz beträgt für die Abfälle im UMF mit der höchsten Ortsdosisleistung unter konservativen Annahmen integral etwa einen halben Liter (überwiegend H_2 und CO_2) pro Kilogramm Salz in einem Bereich von einigen Zentimetern um den Bohrlochrand /AKR 93/. Diese Gasmenge von weniger als 10 l pro Spezialcontainer lässt auch langfristig keine Auswirkungen von sicherheitstechnischer Bedeutung erwarten.

Die Erhöhung der Salztemperatur hat keinen Einfluss auf die Gasbildung, da erkennbare Effekte der Temperaturerhöhung erst ab etwa 100 - 150 °C auftreten /PAL 91/. Der Einfluss auf das Kriech- und Konvergenzverhalten bleibt ebenfalls sehr gering, da er auf einen örtlich begrenzten Bereich mit einem Durchmesser von ca. 1 m beschränkt ist. Die Temperaturerhöhung klingt zudem wegen der vergleichsweise kurzen Halbwertszeiten der in den Spezialcontainern enthaltenen Radionuklide von bis zu 30 Jahren rasch ab.

ERA Morsleben

8 LITERATUR

/ALD 92/ Alder, H. et al.
Strahlenschutztechnik bei der Abfall-Zwischenlagerung
SVA-Kurs Strahlenschutz im Kernkraftwerk – Neue Maßnahmen und Vorschriften
Winterthur, 1992

/AKR 93/ Akram H. et al.
Compared study of radiolysis-induced gas liberation in rock salt from various origins
Mat. Res. Soc. Proc., Vol. 294 (1993) S. 447

/ALK 06/ H. Alkan, W. Müller
Modellierung und Bewertung des Rn-222- und Pb-210-Flusses im ERAM für den bestimmungsgemäßen Stilllegungsbetrieb
ISTec-A-823 (Rev. 1), Köln, 2006

/BEY 87/ Beyer, H. et al.
Laborversuche zur Rückhaltefähigkeit von Versatzmaterialien aus der Grube Konrad gegenüber radioaktiven Gasen
20. Jahrestagung Fachverband Strahlenschutz, Basel, 1987

/BEY 89/ Beyer, H. et al.
Rückhaltevermögen von Salzgestein
KWU-Forschungsbericht E141/89/244
Erlangen, 1989

/BFS 00/ Kugel, K.
Entsorgung radioaktiver Abfälle im Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben(ERAM), – Zwischengelagerte radioaktive Abfälle –
Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Nukleare Entsorgung
Interner Arbeitsbericht ET-IB-112, Salzgitter, Februar 2000

/BFS 96/ K. Kugel, W. Noack, H. Giller, B.-R. Martens, P. Brennecke
Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle und Maßnahmen zur Produktkontrolle radioaktiver Abfälle, Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM), Teil I: Endlagerungsbedingungen, Stand: August 1996 Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Nukleare Entsorgung und Transport
BfS-ET-IB-85, August 1996, Salzgitter.

/BFS 06/ Bundesamt für Strahlenschutz
Entsorgung radioaktiver Abfälle im Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) – Einlagerungszeitraum 1971 bis 1991 –
ET-IB-109-REV-02, 2006

ERA Morsleben

/BFS 06a/ Bundesamt für Strahlenschutz
Entsorgung radioaktiver Abfälle im Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) – Einlagerungszeitraum 1994 bis 1998 –
ET-IB-110-REV-02, 2006

/BMI 83/ Bundesministerium des Inneren
Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk
GMBI 13, 11.05.1983

/BMU 05/ BMU
Atomgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S.1565), zuletzt geändert durch Art. 1 G v. 12. 8.2005, BGBl. I S. 2365, ber. S. 2976)

/BMU 05a/ BMU
Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) vom 20. Juli 2001, (BGBl. I S.1714, 2002 I S. 1459), zuletzt geändert durch G. v. 1.9.2005 (BGBl. I S. 2653, 2658)

/BMW 05/ BMWi
Bundesberggesetz (BBergG) vom 13. August 1980, BGBl. I S. 1310, zuletzt geändert am 21. Juni 2005, BGBl. I S. 1818

/BRU 85/ H. Brunner, B. Ganser
Endlagerung Thorium-haltiger Abfälle, Abschlussbericht
NUKEM, 1985

/DBE 98ff./ DBE/ERAM
Jahresberichte Strahlenschutz 1998 – 2002

/DBE 99ff./ DBE/ERAM
Jahresberichte Emissionsüberwachung 1999 – 2002

/DBE 05/ Systembeschreibung der Bewetterung des ERA Morsleben in der Betriebsphase der Stilllegung, 9M/22342021, DBE, Peine, 15.12.2005

/DBE 05b/ Verfüllplan zur Stilllegung des ERAM nach Durchführung der bergbaulichen Gefahrenabwehrmaßnahme im Zentralteil – Konzeptplanung
9M/22341011, DBE, Peine, 15.12.2005

/DBE 06/ [redacted]
ERA Morsleben, Abwetterbauwerk Schacht Marie, Druckentlastungsklappen in der Schachthalle Marie, DBE, Peine, 30.03.2006

ERA Morsleben

/GAR 96/ García Celma, A. et al.
Radiation damage in salt rock repositories
4th European Conf. Management and Disposal of Radioactive Waste
Luxemburg, 1996

/GRS 06/ GRS
ERAM, Ermittlung der Langzeit-Ausbreitungs- und - Ablagerungsfaktoren im bestimmungsgemäßen Stilllegungsbetrieb, Rev. 1
Köln, 2006

/IBA 03/ Ibach, T.
Messungen und Betrachtungen zur Bedeutung des Radons im ERAM unter besonderer Berücksichtigung des Schachtes Marie,
Salzgitter, 2003

/IST 06/ ISTec
Störfallanalyse für den Stilllegungsbetrieb des Endlagers Morsleben
ISTec-A-266 Rev. 1, Köln, 2006

/KÖS 84/ Köster, R., Gräbner, H.
Konditionierung von Brennelementhülsen und tritiumhaltigen Wässern mit hydraulischen Zementen
KfK-3675, Karlsruhe 1984

/KUN 83/ Kunz, W.
Verhalten von Tritium in der Zirkoniumlegierung Zircaloy-2 – Diffusion, Gleichgewichtsdrucke und Abgabe
Dissertation TH Darmstadt, 1983

/KUN 98/ Kunze, V. et al.
The role of volatile radionuclides in the safety analysis of underground repositories
Intern. Conf. on Radioactive Waste Disposal, DisTec ´98
Hamburg, 1998

/KUN 00/ Kunze, V., et al.
Untersuchung der Radonfreisetzung aus einem Radiumfass mit eingekapselten Radiumquellen
2nd Dresden Symposium on Radiation Protection, Dresden, September 2000

/LOR 79/ Lorscheider, R.
Tritiumabfälle und ihre Problematik
7. IRPA-Regionalkongress, Köln, 1979

/LOR 00/ Lorenz, S., Müller, W.
Modelling of Volatile Radionuclide Release in Repository Operation and De-

ERA Morsleben

commissioning – Calculations and Comparison with Measurements
DisTec 2000, Berlin, 4.-6.12.2000

/MUE 85/ Müller W., Lange F.
Formalisms and models for the derivation of acceptance requirements on radioactive waste from radiation protection considerations for the Konrad waste repository
Proc. Int. Sem. “Radioactive Waste Products”
Jülich 1985, p. 622

/PAL 91/ Palut, J. M.
Effets de l´ irradiation sur le sel de gemme – Projet HAW – Asse
Rapport Final
EUR 13264 FR, 1991

/STA 86/ Staatliches Amt für Atomsicherheit und Strahlenschutz
Genehmigung vom 22.04.1986 zum Dauerbetrieb des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben

/STI 83/ Stippler, R.
Freisetzung von radioaktiven Stoffen aus schwach- und mittelradioaktiven Abfällen bei der Endlagerung im Salzbergwerk Asse
Strategiegespräch „Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Entsorgung von radioaktiven Sonderabfällen
Bonn, August 1983

ERA Morsleben