

STILLEGUNG ERA MORSLEBEN

**Kurzbeschreibung der Stilllegung des
Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben**

Bundesamt für Strahlenschutz



Bundesamt für Strahlenschutz

ERA Morsleben

Salzgitter, 15. September 2009

INHALTSVERZEICHNIS:

0	EINLEITUNG.....	5
1	GESCHICHTE DES ERAM.....	7
2	STANDORT	8
2.1	GEOGRAPHISCHE GEGEBENHEITEN	8
2.2	RADIOLOGISCHE GEGEBENHEITEN	9
2.3	GEOLOGISCHE GEGEBENHEITEN	9
2.4	SEISMOLOGISCHE STANDORTVERHÄLTNISSE	14
3	ANLAGEN ÜBER UND UNTER TAGE	14
3.1	ÜBERTÄGIGE ANLAGEN	14
3.2	GRUBENGEBÄUDE UND UNTERTÄGIGE ANLAGEN	17
4	RADIOAKTIVE UND KONVENTIONELLE ABFÄLLE IM ERAM	19
4.1	ZWISCHEN- UND ENDGELAGERTE RADIOAKTIVE ABFÄLLE IM ERAM	19
4.2	BETRIEBLICHE RADIOAKTIVE ABFÄLLE	22
4.3	BETRIEBLICHE UND SONSTIGE NICHT RADIOAKTIVE ABFÄLLE	22
5	AUSLEGUNGSGRUNDLAGEN FÜR DIE STILLLEGUNG.....	23
6	STILLLEGUNGSKONZEPT	24
7	STILLLEGUNGSBETRIEB.....	29
7.1	BETRIEBSORGANISATION.....	29
7.2	MATERIALTRANSPORTE	29
7.3	VERSATZMAßNAHMEN	31
7.4	VERFÜLLEN DER SCHÄCHTE BARTENSLEBEN UND MARIE.....	34
8	AUSWIRKUNGEN WÄHREND DES UMRÜSTUNGS- UND STILLLEGUNGSBETRIEBES	35
8.1	RADIOLOGISCHE AUSWIRKUNGEN	35
8.2	KONVENTIONELLE AUSWIRKUNGEN.....	36
8.3	ZUSAMMENFASSENDE BEURTEILUNG DER UMWELTAUSWIRKUNGEN	37
9	SICHERHEITSANALYSEN	38
9.1	STANDSICHERHEIT DER GRUBENGEBÄUDE WÄHREND DES STILLLEGUNGSBETRIEBES.....	38
9.2	RADIOLOGISCHE VERHÄLTNISSE IM BESTIMMUNGSGEMÄßEN STILLLEGUNGSBETRIEB	38
9.3	STÖRFALLANALYSEN	41
10	LANGZEITSICHERHEIT.....	42
10.1	VERSATZMAßNAHMEN UNTER LANGZEITSICHERHEITLICHEN GESICHTSPUNKTEN	43
10.2	SZENARIENANALYSE.....	43
10.3	KONSEQUENZANALYSE	45
11	ERGÄNZENDE SICHERHEITSBETRACHTUNGEN	51
11.1	AKTIVITÄTSINVENTAR IM ENDLAGER.....	51
11.2	INTEGRIERTE FREISETZUNG AUS TEILBEREICHEN DES ENDLAGERS	52

11.3	GEFÄHRDUNGSPOTENZIALE AUFGRUND MENSCHLICHER EINWIRKUNGEN.....	53
11.4	GEFÄHRDUNGSPOTENZIAL CHEMISCHER SCHADSTOFFE.....	54
12	ABSCHLIEßENDE BEURTEILUNG	56
13	ERLÄUTERUNG DER VERWENDETEN ABKÜRZUNGEN UND FACHBEGRIFFE.....	57
14	VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN UND TABELLEN	65

ERA
Morsleben

0 EINLEITUNG

Das in dem ehemaligen Kali- und Steinsalzbergwerk Bartensleben durch die DDR eingerichtete Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) ging 1990 durch den Einigungsvertrag in die Verantwortung der Bundesrepublik Deutschland über und wurde mit Unterbrechungen bis 1998 zur Endlagerung niedrig- und mittelradioaktiver Abfälle genutzt.

Inhaber der Dauerbetriebsgenehmigung und Betreiber der Anlage ist seit 1990 das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), das die Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (DBE) mit der Betriebsführung des ERAM beauftragt hat.

Im ERAM wurden in der Zeit zwischen 1971 und 1998 insgesamt ca. 37.000 m³ niedrig- und mittelradioaktive Abfälle mit einer Gesamtaktivität von weniger als $6 \cdot 10^{14}$ Bq (Stichtag: 30.06.05) eingelagert.

Der am 13. Oktober 1992 bei der zuständigen Planfeststellungsbehörde des Landes Sachsen-Anhalt gestellte Antrag auf Weiterbetrieb wurde mit Antrag vom 9. Mai 1997 auf die Stilllegung des ERAM beschränkt. Im Rahmen des Stilllegungsverfahrens soll neben der Stilllegung des ERAM die Endlagerung der bis zu diesem Zeitpunkt im ERAM zwischengelagerten radioaktiven Abfälle sowie die Endlagerung der noch während des Stilllegungsbetriebes anfallenden betrieblichen radioaktiven Abfälle erfolgen. Seit 2003 werden ausgewählte Grubenbaue im Zentralteil zur bergbaulichen Gefahrenabwehr mit Salzbeton verfüllt, in denen keine radioaktiven Abfälle lagern.

Die Stilllegung des ERAM stellt besondere Anforderungen, da das Hohlraumvolumen des in einem ehemaligen Gewinnungsbergwerk eingerichteten Endlagers für radioaktive Abfälle das Volumen der darin endgelagerten Abfälle weit übersteigt. Das für das ERAM nach Prüfung von technischen Alternativen entwickelte Stilllegungskonzept sieht daher eine weitgehende Verfüllung der Grubenbaue vor.

Im Zuge der Stilllegungsmaßnahmen werden von insgesamt rd. 5,4 Mio. m³ Hohlraumvolumen ca. 4,0 Mio. m³ Salzbeton über Rohrleitungen in das ERAM verpumpt. Mit diesem Versatzmaterial wird eine Stützwirkung für die Grubengebäude erreicht. Gleichzeitig behindert der in den Grubenbauen befindliche Salzbeton langfristig die Bewegung von wässrigen Salzlösungen und den Transport potenziell kontaminierter Lösungen in den Grubengebäuden. Zu dem Stilllegungskonzept gehören auch umfangreiche Maßnahmen für den Verschluss der Schächte Bartensleben und Marie selbst, die einerseits Stützwirkung haben und andererseits den Zutritt von Lösungen in die Grubengebäude und den Austritt aus den Grubengebäuden weitgehend und langfristig behindern.

Auf der Grundlage umfangreicher wissenschaftlicher und technischer Untersuchungen wurde nachgewiesen, dass unter Berücksichtigung der standortspezifischen Bedingungen auch unter langzeitsicherheitlichen Betrachtungen die Auswirkungen auf Mensch und Umwelt gering bleiben und die Schutzziele eingehalten werden.

Entsprechend den Vorgaben der Atomrechtlichen Verfahrensverordnung (AtVfV) wurden die Auswirkungen der Stilllegung auf Menschen, einschließlich der menschlichen Gesundheit, Tiere, Pflanzen und die biologische Vielfalt, Boden, Wasser, Luft, Klima und Landschaft, Kulturgüter und sonstige Sachgüter, sowie die Wechselwirkung zwischen den vorgenannten Schutzgütern im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsuntersuchung ermittelt, beschrieben und bewertet sowie Maßnahmen zu deren Kompensation vorgesehen.

Die Stilllegungsmaßnahmen werden nach dem Planfeststellungsbeschluss mit den über- und untertägigen Infrastrukturmaßnahmen beginnen und voraussichtlich ca. 15 Jahre andauern.

Nach Abschluss der Stilllegungsmaßnahmen wird die Tagesoberfläche nach den Vorschriften des Bundesberggesetzes (BBergG) wieder nutzbar gemacht.

Die nachstehenden Darstellungen geben einen Überblick über die im Zuge der Planungen zur Stilllegung des ERAM erfolgten Untersuchungen und deren Ergebnisse; sie sollen im Zuge der Beteiligung der Öffentlichkeit das Vorhaben im Wesentlichen beschreiben und dessen voraussichtlichen Auswirkungen auf die Allgemeinheit und die Nachbarschaft enthalten.

ERA
Morsleben

1 GESCHICHTE DES ERAM

Die Schachtanlagen Bartensleben und Marie wurden um 1900 errichtet. Anschließend wurden in beiden Schachtanlagen Steinsalz und Kalisalz abgebaut. Das Grubengebäude der Schachtanlage Bartensleben ist durch zwei Strecken mit dem Grubengebäude der ehemals selbständigen Schachtanlage Marie verbunden. Im 2. Weltkrieg dienten die Grubengebäude auch Rüstungszwecken. Von 1959 bis 1984 wurden Teile der Schachtanlage Marie zur untertägigen Hähnchenmast genutzt. Von 1987 bis 1996 waren dort Härtereialsalze zwischengelagert.

1970 wurde die Schachtanlage Bartensleben von der DDR aus zehn Salzbergwerken als Endlager für radioaktive Abfälle ausgewählt. Die Errichtung und der Betrieb des ERAM verlief in folgenden Etappen:

- | | |
|------|---|
| 1971 | erste probeweise Einlagerung radioaktiver Abfälle |
| 1972 | Standortgenehmigung |
| 1974 | Genehmigung zur Errichtung und zweite probeweise Einlagerung |
| 1979 | Inbetriebnahmegenehmigung |
| 1981 | befristete Genehmigung zum Dauerbetrieb |
| 1986 | unbefristete Genehmigung zum Dauerbetrieb vom 22. April 1986 (DBG) |
| 1990 | Übergang der DBG auf das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) |
| 1991 | Unterbrechung der Einlagerung nach Beschluss des Bezirksgerichts Magdeburg am 20. Februar 1991 |
| 1994 | Wiederaufnahme der Einlagerung nach Aufhebung des Beschlusses durch Urteil des Bundesverwaltungsgerichtes vom 25. Juni 1992 |
| 1998 | Aussetzung der Einlagerung nach Entscheid des Oberverwaltungsgerichtes Magdeburg vom 25. September 1998 |
| 2001 | Verzicht des BfS auf Annahme und Endlagerung weiterer radioaktiver Abfälle |
| 2003 | Beginn der Verfüllung ausgewählter Grubenbaue zur bergbaulichen Gefahrenabwehr im Zentralteil (bGZ) |
| 2005 | Einreichung der Unterlagen für die Öffentlichkeitsbeteiligung am 13. September 2005 |
| 2009 | Einreichung der Unterlagen für die Öffentlichkeitsbeteiligung nach umfangreicher Überarbeitung am 26. Januar 2009 |

Genehmigungs- und Aufsichtsbehörde war bis 1990 das Staatliche Amt für Atomsicherheit und Strahlenschutz (SAAS) der DDR.

Durch den aufgrund des Einigungsvertrages in das AtG eingefügten § 57a und das Gesetz zur Änderung des Atomgesetzes vom 22.04.2002 gilt die DBG (Dauerbetriebsgenehmigung) mit Ausnahme der Regelungen für die Annahme und Endlagerung weiterer radioaktiver Abfälle als Planfeststellungsbeschluss (PFB) i. S. d. § 9b AtG fort. Die DBG wurde auch nach 1990 mehrfach geändert. Im Jahr 2003 wurde beim Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt als atomrechtliche Genehmigungsbehörde ein Plan für die Umrüstung (revidierte Fassung im Jahr 2005) und den Offenhaltungsbetrieb des ERAM eingereicht. Der Plan Stilllegung setzt die Umsetzung der im Plan Offenhaltung beantragten Maßnahmen voraus.

2 STANDORT

2.1 GEOGRAPHISCHE GEGEBENHEITEN

Das ERAM liegt in Sachsen-Anhalt, unmittelbar an der westlichen Landesgrenze zu Niedersachsen. Es befindet sich ungefähr auf halber Strecke zwischen Magdeburg und Braunschweig in einem landwirtschaftlich geprägten und untergeordnet wald- bzw. forstwirtschaftlich genutzten, relativ dünn besiedelten Gebiet.



Abb. 2-1: Geographische Lage des ERAM.

Die Schachtanlagen Bartensleben und Marie, die ca. 1,7 km voneinander entfernt sind, liegen im Bereich der Gemarkungen Morsleben (Schachtanlage Bartensleben) und Beendorf (Schachtanlage Marie). Beide Gemarkungen gehören zum Landkreis Börde. Die Schachtanlage Bartensleben ist an die Bundesstraße (B) 1 angebunden. Über die B 1 ist die Bundesautobahn (BAB) 2 direkt zu erreichen. Die Schachtanlage Marie ist über die Gemeindestraßen "Rundahlsweg" und "Mittelweg" an die Landstraße (L) 41 angebunden. Die L 41 verläuft östlich der Schachtanlage Marie und mündet in Morsleben in die B 1. Details zur geographischen Lage des ERAM sind der Abb. 2-1 zu entnehmen.

Das ERAM befindet sich im Einzugsbereich der oberen Aller. Der bisher gemessene höchste Hochwasserstand der Aller im Bereich des ERAM lag mehr als 20 m unterhalb des Ansatzpunktes des Schachtes Bartensleben sowie des Schachtes Marie, so dass es zu keiner von der Aller hervorgerufenen Überschwemmung des Anlagengeländes kommen kann.

Die Schachtanlagen Bartensleben und Marie und die Mehrzahl in ihrer Umgebung gelegenen Gemeinden des Landkreises Börde sowie des Kreises Helmstedt sind an eine zentrale Trinkwasserversorgung angeschlossen.

2.2 RADIOLOGISCHE GEGEBENHEITEN

Die radiologischen Gegebenheiten in der Umgebung des Standortes setzen sich zusammen aus der radiologischen Grundbelastung und aus der radiologischen Vorbelastung gemäß § 47 Abs. 5 StrlSchV.

Die radiologische Grundbelastung wird vornehmlich durch die natürlich vorkommenden Radionuklide und die kosmische Strahlung sowie künstliche Radionuklide durch den Fallout der oberirdischen Kernwaffenversuche und durch Emittenten außerhalb des Geltungsbereiches des AtG, vor allem durch den Reaktorunfall in Tschernobyl 1986, verursacht. Durch unterschiedliche geologische Verhältnisse bedingt, variiert die Grundbelastung und ist standortabhängig.

Im ERAM werden seit 1998 eine radioaktiven Abfallgebinde zur Endlagerung mehr angenommen. Der überragige Kontrollbereich wurde vor Beginn der Stilllegung zurückgebaut. Eine Strahlenexposition in der Umgebung durch Direktstrahlung während der Stilllegung des ERAM ist damit ausgeschlossen. Die Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern in die Umgebung führt zu Strahlenexpositionen weit unterhalb der Grenzwerte des § 47 StrlSchV.

Die Einhaltung der Aktivitätsgrenzwerte in konventionellen Abwässern, Schachtwässern und Abwettern wird durch regelmäßige Beprobungen und kontinuierliche Messungen nachgewiesen und dokumentiert.

Im 50-km-Umkreis um den Standort sind keine kerntechnischen Einrichtungen vorhanden, deren Ableitungen für den Standort relevant sein könnten. Weiterhin gibt es keine Einrichtungen, in denen mit sonstigen radioaktiven Stoffen umgegangen wird und deren Ableitungen in signifikantem Maß den Standort des ERAM erreichen könnten. Eine radiologische Vorbelastung für die Betriebsfläche des ERAM und dessen Umgebung gemäß § 47 Abs. 5 StrlSchV liegt nicht vor.

2.3 GEOLOGISCHE GEGEBENHEITEN

Für den Stilllegungsbetrieb und für die Sicherheitsanalysen sind die geologischen Gegebenheiten im Bereich des ERAM (insbesondere die geologischen Gegebenheiten im Endlager selbst sowie das Deck- und Nebengebirge) von Bedeutung.

Das ERAM liegt in der geologischen Struktureinheit Allertalzone zwischen der Lappwaldscholle im Südwesten und der Weferlinger Triasplatte im Nordosten (Abb. 2-2). Diese Struktureinheiten sind durch Störungen voneinander getrennt, an denen die Gesteinsschichten gegeneinander versetzt sind (Abb. 2-3). Die Endlagerung der radioaktiven Abfälle erfolgte im tiefen geologischen Untergrund in Salzgesteinen (Salinar) des Zechstein in der Salzstruktur der Allertalzone.

Die im Bereich des ERAM vorhandenen Gesteine sind in Tab. 2-1 zusammenfassend dargestellt. Der Zechstein wird zusätzlich im Text beschrieben, da dessen Gesteine das Wirtsgestein der endgelagerten radioaktiven Abfälle und die wesentliche geologische Barriere bilden.



Abb. 2-2: Geologische Struktureinheiten und Richtung der Grundwasserbewegung (blaue Pfeile) im Bereich des ERAM.

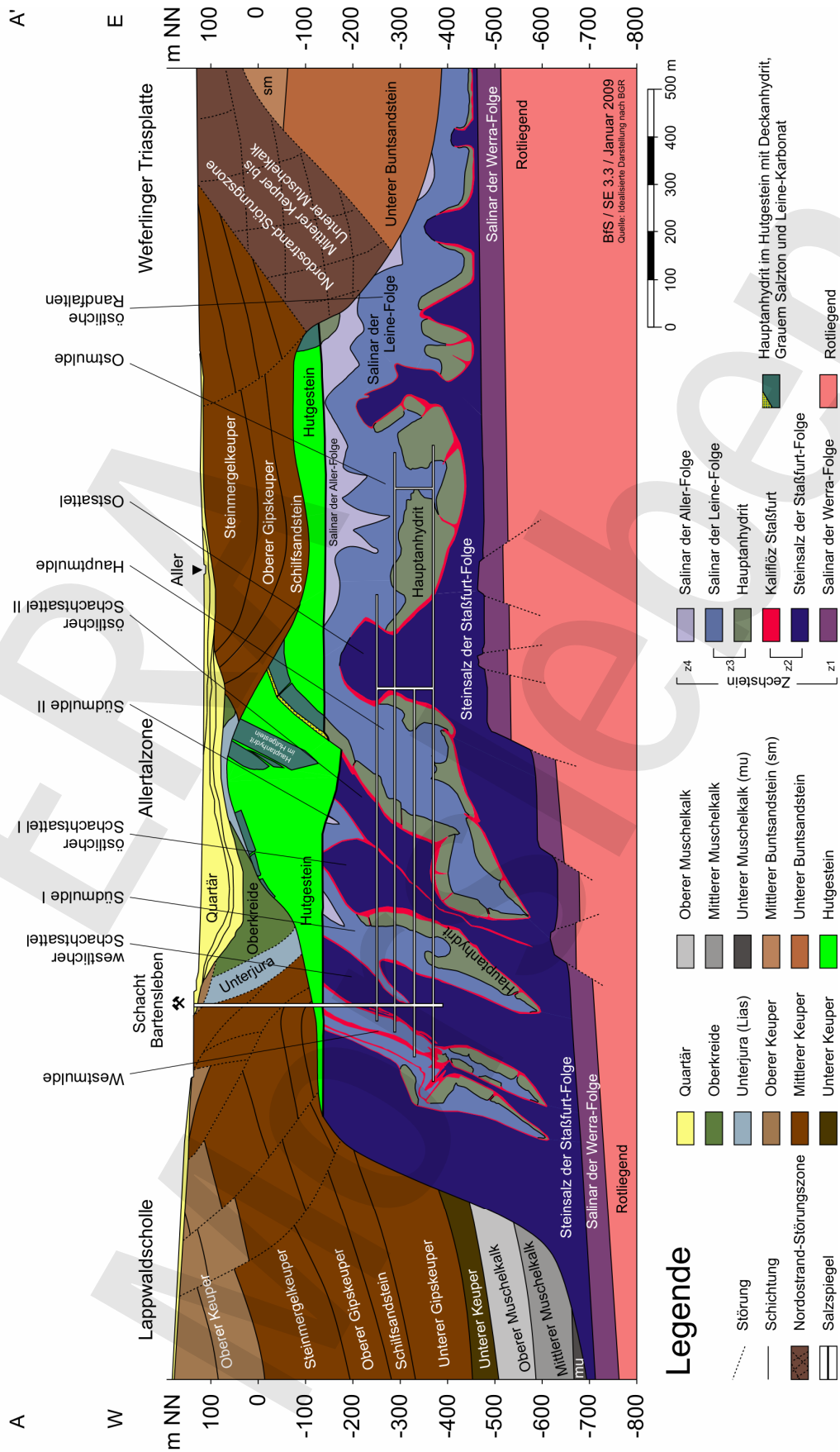


Abb. 2-3: Schematischer geologischer West - Ost - Schnitt durch das Allertal im Bereich des ERAM (Lage des Schnittes A – A' siehe Abb. 2-2).

Tab. 2-1: Im Bereich des ERAM vorkommende erdgeschichtliche Einheiten und Gesteine.

Erdgeschichtliche Einheiten		Beginn vor Mio. Jahren		Gesteine	Anmerkungen
Känozoikum	Quartär	Holozän	0,01	Kies, Sand, Schluff, Auenlehm, Kalk- und Torfmudden	insbesondere in Allertalzone
		Pleistozän	1,8	Schotter, Sand, Schluff, Ton, Löss, Grundmoräne	
Tertiär		Oligozän	34	Sand, Ton	in Allertalzone und Weferlinger Triasplatte lückenhaft;
		Eozän	55	Sand, Schluff	in Lappwaldscholle in großer z. T. mächtiger Verbreitung
		Paleozän	65	Sand, Schluff, Ton	
		Maastricht	71	Sand	nur in Allertalzone (örtlich)
		Campan	84	Konglomerat, Sand-, Schluffstein, Sand	
Jura		Malm	156	Mergelstein; untergeordnet Dolomit- und Kalkstein	nur in Allertalzone und Lappwaldscholle Erosionsreste
		Dogger	177	Ton-, Schluffstein	
		Lias	200	Ton-, Schluff-, Sand-, Mergel- und Kalkstein	
		Keuper	Oberer Keuper (Rhät)	235	Ton-, Tonmergel-, Dolomit-, Schluff- und Sandstein; untergeordnet Gips und Steinsalz
Mittlerer Keuper					
Unterer Keuper					
Trias	Muschelkalk	Oberer Muschelkalk	243	Kalkstein, Dolomitmergelstein, Tonstein; untergeordnet Anhydrit und Steinsalz	nur in Weferlinger Triasplatte (Erosionsreste) und in Lappwaldscholle
		Mittlerer Muschelkalk			
		Unterer Muschelkalk			
Perm	Zechstein	Oberer Buntsandstein (Röt)	251	Tonmergel-, Ton-, Sand-, Kalksandstein; untergeordnet Anhydrit, Gips und Steinsalz	nur in Lappwaldscholle und Weferlinger Triasplatte
		Mittlerer Buntsandstein			
		Unterer Buntsandstein			
Paläozoikum		Aller-Folge (z4)	258	Steinsalz und Anhydrit; untergeordnet Kalisalze und Tone	Wirtsgestein der Abfälle siehe Textbeschreibung im Kapitel 2.3
		Leine-Folge (z3)			
		Staßfurt-Folge (z2)			
		Werra-Folge (z1)			
Karbon	Rotliegend		302	Konglomerat, Sand-, Schluffstein, vulkanisches Gestein	nur durch Bohrungen bekannt
		Namur	327	Tonschiefer, Grauwacke	
Devon	Oberdevon		358	Tonschiefer, Diabas, Grauwacke	nur durch Bohrungen bekannt
		Mitteldévon	381	Tonschiefer, Diabas	
			392	Tonstein, eingeschaltete Kalkstein	

Der Zechstein im Bereich des ERAM umfasst verschiedene Folgen von Salzgestein und besteht überwiegend aus Steinsalz. Salzgesteine zeigen unter Druck ein ohne Verbrüche ablaufendes plastisches Verformungsverhalten, das auch als plastisches Fließen von Salzen bezeichnet wird. Die "fließfähigen" Salzgesteine (z2 - z4) sind im Zuge tektonischer Bewegungen der erdgeschichtlichen Vergangenheit aus dem Bereich der Lappwaldscholle und der Weferlinger Triasplatte in den Bereich des heutigen Allertals eingedrungen und haben eine in sich verfaltete Anstauung (Salzstruktur) gebildet. In der Lappwaldscholle fehlen diese Schichten heute z. T. ganz. Im Bereich der Weferlinger Triasplatte sind die "fließfähigen" Salzgesteine stark ausgedünnt.

Die angestauten, leicht löslichen Salzgesteine wurden in bestimmten Zeitabschnitten der erdgeschichtlichen Entwicklung durch Einwirkung von an Salz ungesättigtem Grundwasser an ihrer Oberfläche aufgelöst und mit dem Wasser weggeführt (Subrosion). Daher ist von den ursprünglich abgelagerten Salzgesteinen nur ihr unterer Abschnitt mit den Schichten der Staßfurt- und z. T. der Leine-Folge erhalten geblieben, welche die heutige Salzstruktur bilden. Die Rückstände (überwiegend Anhydrit bzw. Gips, daneben kommen Ton bzw. Tonsteine vor) des Lösungsvorgangs an der Salzstrukturoberfläche werden Hutgestein genannt. Die meist horizontale Grenzfläche zwischen Hutgestein und der darunter liegenden Salzstruktur heißt Salzspiegel. Die in der Salzstruktur Allertal verfalteten Salzgesteinsschichten liegen häufig nicht mehr in ihrer ursprünglichen Form vor. Sie wurden ausgedünnt oder angestaut und ihr Gefüge wurde verändert. Der in der Salzstruktur befindliche Hauptanhydrit reagierte auf Grund seines spröden Verhaltens bruchhaft auf die plastische Verfaltung der übrigen salinaren Gesteine und liegt daher heute in der Salzstruktur in Form einzelner durch Steinsalz getrennter Schollen vor. Der Anteil des Hauptanhydrits in den Salinar-Schichten des Allertals beträgt ca. 20 Vol.-% und ist damit im Vergleich zu anderen Salzstrukturen relativ groß. Deshalb fällt auch der natürliche Schrumpfungsprozess der Hohlräume des Bergwerkes, die sogenannte Konvergenz, relativ gering aus. Die hier beschriebenen strukturbildenden Prozesse fanden in den tektonisch aktiven Phasen der erdgeschichtlichen Vergangenheit statt. Sie sind heute aufgrund fehlender Antriebsmechanismen weitestgehend zum Stillstand gekommen.

Nur im zentralen Bereich der Grube reicht der Hauptanhydrit in Verbindung mit dem Kaliflöz Staßfurt bis zum Salzspiegel. Hier, über der Längsachse der Salzstruktur, sind auch die größten Mächtigkeiten des Hutgesteins anzutreffen. Die Mächtigkeit des Hutgesteins kann bis ca. 240 m betragen. Es ist über weite Bereiche, ebenso wie Steinsalz, praktisch undurchlässig. Höhere Durchlässigkeiten treten über größere Bereiche im Hutgestein nur in der im Hutgestein eingelagerten Schichtenfolge Deckanhydrit / Grauer Salzton / Leinekarbonat („DGL“) auf.

Das Ausmaß der Subrosion hängt von den Durchlässigkeiten der über dem Salinar liegenden Schichten, der Grundwasserbewegung in diesem Bereich sowie eventuellen Hebungsraten ab. Unter eiszeitlichen Bedingungen, wie sie im Zusammenhang mit den Vereisungen während der Elster-Eiszeit vor rund 400.000 Jahren im Bereich des ERAM herrschten, erreichte die flächenhafte Subrosionsrate durchschnittlich Werte bis zu einigen zehntel Millimeter pro Jahr. Aufgrund der geringen Durchlässigkeit der Gesteine oberhalb des Salzspiegels beträgt unter den heutigen klimatischen Bedingungen die durchschnittliche flächenhafte Subrosionsrate wenige hundertstel Millimeter pro Jahr. Dieser Wert gilt auch zukünftig bis zu einer erneuten Eiszeit.

An einigen Stellen der Grubengebäude Bartensleben und Marie treten aus dem Salinar wässrige Salzlösungen zu. Die überwiegende Anzahl dieser Zutrittsstellen ist inzwischen versiegt bzw. ausgetrocknet. Die Summe der Zutrittsraten aller Lösungszutrittsstellen in den Grubengebäuden betrug seit 1991 ca. 12 m³/Jahr (entspricht ca. 1,4 l/h). Nur im Grubengebäude Marie im Bereich des Lagers H treten Lösungen ins Grubengebäude ein, deren Wasseranteil aus dem Deckgebirge der Salzstruktur stammt. Bereits 1907 sind Lösungszutritte im Lager H bei Auffahrungen aufgetreten. Die durchschnittliche Zutrittsrate seit 1991 liegt dort bei ca. 11 m³/Jahr (entspricht ca. 1,2 l/h). Die zutretenden Lösungen sind vollständig salzgesättigt. Bei allen anderen Vorkommen von wässrigen Salzlösungen handelt es sich entweder um Lösungen, die seit geologischen Zeiten (Millionen von Jahren) im Salzgestein eingeschlossen waren, oder um Wässer, die bergbaubedingt (z. B. Versatz-, Wetterlösungen) und als Folge der Nutzung der untertägigen Hohlräume (z. B. bei der Hähnchenmast) in die Grube gelangten bzw. noch gelangen.

2.4 SEISMOLOGISCHE STANDORTVERHÄLTNISSE

Es wurde geprüft, ob für das ERAM eine Erdbebengefährdung vorliegt. Für den Standort wurde u. a. die makroseismische Intensität möglicher Erdbeben nach dem kerntechnischen Regelwerk KTA 2201.1 ermittelt. Die Intensität ist ein Maß für die Auswirkungen von Erdbeben auf Menschen, Bauwerke und die Erdoberfläche.

Der Standort Morsleben liegt in einem Bereich mit sehr geringer Erdbebengefährdung. In der engeren Umgebung des ERAM sind in über 1.000 Jahren lediglich neun tektonische Erdbeben bekannt geworden, die alle ohne Schadenswirkung blieben. Im 210-km-Radius sind nur wenige Erdbebenereignisse mit Intensitäten aufgetreten, die Schäden verursacht haben. Übertragen auf den Standort Morsleben bedeutet dies eine maximal mögliche Intensität von VI-VII auf der einschlägigen Skala MSK 1964. Hieraus ist abzuleiten, dass das ERAM nicht erdbebengefährdet ist. Die Gefahr einer Bodenverflüssigung besteht ebenfalls nicht.

3 ANLAGEN ÜBER UND UNTER TAGE

3.1 ÜBERTÄGIGE ANLAGEN

Schachtanlage Bartensleben

Die übertägigen Anlagen sind im Zusammenhang mit der vorausgegangenen Nutzung der Schachtanlage entstanden und entsprechen weitestgehend den Erfordernissen des Offenhaltungsbetriebes und der notwendigen bergtechnischen Aktivitäten.

Die vorhandenen Bauwerke und technischen Einrichtungen zum Vorhabensbeginn des Stilllegungsbetriebes sind aus Abb. 3-1 ersichtlich. Der kerntechnische Anlagenteil der Schachtanlage Bartensleben zum Zeitpunkt des Planfeststellungsbeschlusses ist rot umrandet.

Die Straßenanbindung erfolgt über die Werkszufahrt an die B 1. Außerdem sind zwei Notzufahrten (z. B. als Feuerwehrezufahrt), die über Gemeindestraßen an die L 41 angebunden sind, vorhanden.

Die Wärmeversorgung erfolgt zentral von einem Leichtöl-Heizwerk. Die Elektroenergie- und Wasserversorgung erfolgt über das jeweilige öffentliche Netz. Die konventionellen Abwässer werden über einen Sammler der kommunalen Abwasserentsorgung (Klärwerk Beendorf) zugeführt. Die auf den versiegelten Flächen anfallenden Niederschlagswässer gelangen über eine gesonderte Regenwasserkanalisation in den Salzbach und werden dann in die Aller weitergeleitet. Abwässer von Anlagen zur Kfz-Wäsche und aus dem Tankstellenbereich werden über Leichtflüssigkeitsabscheider der Regenwasserkanalisation zugeführt. Schachtwässer werden gesammelt und nach über Tage in ein Stapelbecken gepumpt. Von dort werden die Wässer bei Bedarf mit max. 1,5 l/s über den Salzbach in die Aller geleitet. Die Grubenluft (bergmännisch "Wetter") wird über den Abwetterschlot am 45 m hohen Mehrzweckgebäude abgeführt. Die Versorgung der Grubengebäude mit Frischwettern erfolgt über Schacht Bartensleben.



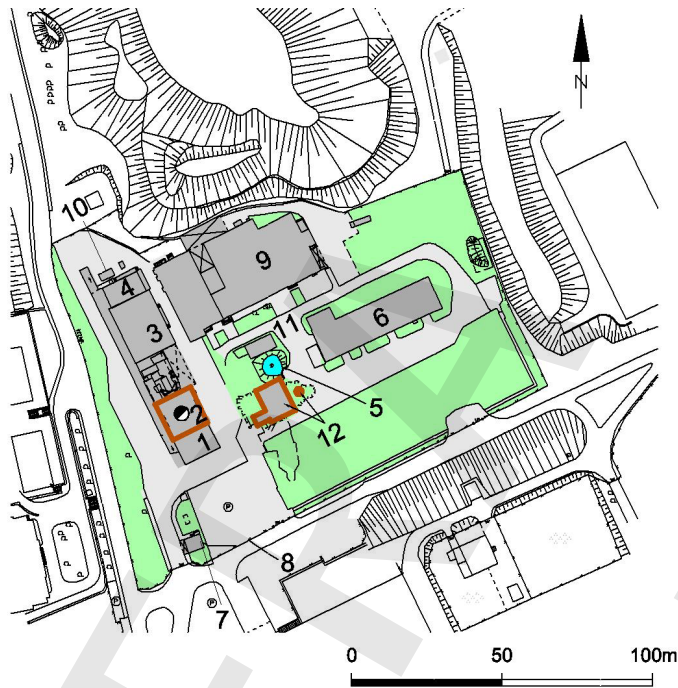
- | | | |
|---|--|---|
| 1 Betriebsgebäude | 15 Stapelbecken | 30 Notzufahrten |
| 2 Verwaltungs-, Kauen- und Kantingebäude | 16 Container zur Abwasserüberwachung | 31 Werkszufahrt |
| 3 Büro- und Polizeicontainer, Laborcontainer zur Umgebungsüberwachung | 17 Notwasserversorgung mit überdachtem Löschwasserbecken | 32 Rohrleitungstrasse |
| 4 Bürogebäude II | 18 Feuerlöschteich | 33 Salzbetonförderanlage |
| 5 Mehrzweckgebäude einschl. Förderturm mit Schachtförderanlage | 19 Ehemaliges Wachhilfsgebäude | 34 ehem. Kohlelagerplatz |
| 6 Mechanische/E-Werkstatt | 20 Zuluftbauwerk für Grubenwetter | 35 möglicher Standort Mischanlage, Bunker |
| 7 Bauwerkstatt | 21 Wetterstation | |
| 8 Klempnerwerkstatt | 22 Uhrengebäude - Baudenkmal | vorhandene Bauwerke |
| 9 Werkfeuerwehr und Kfz-Pflegekomplex | 23 Einfriedung | möglicher Standort für Mischanlage |
| 10 Trafo- /Schaltstation | 24 Wärmeversorgungsanlage | innerbetriebliche Straßen und Plätze |
| 11 Materiallager, Archiv | 25 Elektroenergieversorgung | Grünflächen |
| 12 Freilager | 26 Wachgebäude | wasserführende Anlagen |
| 13 Lager für wassergefährdende und brennbare Stoffe | 27 Containerfreifläche | geplante Bauwerke |
| 14 Anschwemmfiltergebäude | 28 Containerhalle | kerntechnische Anlage |
| | 29 Betankungsanlage | |

Abb. 3-1: Schachtanlage Bartensleben, vorhandene und geplante übertägige Anlagen.

Schachtanlage Marie

Die vorhandenen Bauwerke und technischen Einrichtungen zum Vorhabensbeginn sind aus Abb. 3-2 ersichtlich.

Die vorhandenen übertägigen Anlagen stammen überwiegend aus der vorangegangenen, nicht kerntechnischen Nutzung der Schachtanlage. Sie entsprechen den Erfordernissen der Nutzung als Flucht- und Abwetterweg für das ERAM und entsprechen, wie die Anlagen der Schachtanlage Bartensleben, dem geforderten Sicherheitsstandard.



- 1 Umladehalle
- 2 Schachthalle mit Fördergerüst
- 3 Fördermaschinengebäude
- 4 Trafo-/Schaltstation
- 5 Zisterne
- 6 Werkstatt
- 7 Wachhaus
- 8 Einfriedung
- 9 Sozialgebäude
- 10 Heizcontainer
- 11 Garagen
- 12 Abwetterbauwerk






-  Bauwerke
-  innerbetriebliche Straßen und Plätze
-  Grünflächen und sonstige nicht versiegelte Flächen
-  wasserführende Anlagen
-  kerntechnische Anlage

Abb. 3-2: Schachtanlage Marie, übertägige Anlagen.

Die Elektroenergie- und die Wasserversorgung erfolgt über das jeweilige öffentliche Netz. Die Wärmeversorgung erfolgt durch eine gasbetriebene Heizanlage. Die Entsorgung der konventionellen Abwässer erfolgt über einen Sammler in die kommunale Abwasserentsorgung (Klärwerk Beendorf). Auf den versiegelten Flächen anfallende Niederschlagswässer werden gefasst und über die kommunale Regenwasserkanalisation in die Aller geleitet. Schachtwässer werden gesammelt und nach über Tage in die Zisterne gepumpt. Von dort werden die Wässer bei Bedarf, wie die Niederschlagswässer, über die kommunale Regenwasserkanalisation in die Aller geleitet. Der Hauptteil an Grubenluft aus den Grubenbauen Bartensleben und Marie wird über das Abwetterbauwerk Marie abgeführt.

3.2 GRUBENGEBÄUDE UND UNTERTÄGIGE ANLAGEN

Die Grubengebäude der Schachtanlagen Bartensleben und Marie (siehe Abb. 3-3) sind durch die beiden Schächte „Bartensleben“ und „Marie“ von der Tagesoberfläche aus erschlossen und durch Verbindungsstrecken im Niveau der -291 m-Sohle (2. Sohle) und der -332 m-Sohle (3. Sohle) miteinander verbunden.

Im Grubengebäude Bartensleben liegen die Einlagerungsbereiche. Während des Einlagerungsbetriebes diente Schacht Bartensleben als Endlagerschacht mit allen Förder-, Ver- und Entsorgungsfunktionen. Schacht Marie diente und dient bis zum Verschluss der Verbindungsstrecken als Flucht- und Wetterweg für das ERAM und hat Ver- und Entsorgungsfunktionen für den Grubenbereich Marie.

Die Versorgung der Grubengebäude mit Frischwettern erfolgt über Schacht Bartensleben. Die Wetter werden mit Hilfe von Ventilatoren und Wetterleiteinrichtungen entsprechend des Bedarfs in den Grubengebäuden verteilt. Ein Teil der Abwetter zieht im Schacht Bartensleben leitungsgeführt über Schachtlutten aus. Der überwiegende Teil der Abwetter zieht über die Verbindungsstrecken in das Grubengebäude Marie und über Schacht Marie aus.

Die vorhandenen Grubengebäude sind ausschließlich im Salzgebirge entwickelt (aufgefahren) und erstrecken sich über insgesamt etwa 5,6 km in Längsrichtung des Allertals. Die größte Querausdehnung beträgt etwa 1,7 km und liegt im Grubengebäude Bartensleben. Neben anderen Versatzmaßnahmen wurde im Jahr 2003 im Zuge einer bergbaulichen Gefahrenabwehrmaßnahme im Zentralteil des Grubengebäudes Bartensleben mit der Verfüllung von Grubenbauen mit Salzbeton begonnen. Nach Abschluss dieser Maßnahme werden noch ca. 5,4 Mio. m³ Hohlraum offen stehen. Hiervon befinden sich ca. 4,3 Mio. m³ im Grubengebäude Bartensleben und ca. 1,1 Mio. m³ im Grubengebäude Marie.

Im **Grubengebäude Bartensleben** sind 4 Hauptsohlen mit einem vertikalen Abstand von ca. 40 m untereinander entwickelt:

- 253 m-Sohle (1. Sohle Bartensleben, 380 m-Sohle, -253 m NN),
- 291 m-Sohle (2. Sohle Bartensleben, 420 m-Sohle, -291 m NN),
- 332 m-Sohle (3. Sohle Bartensleben, 460 m-Sohle, -332 m NN),
- 372 m-Sohle (4. Sohle Bartensleben, 500 m-Sohle, -372 m NN).

4 RADIOAKTIVE UND KONVENTIONELLE ABFÄLLE IM ERAM

4.1 ZWISCHEN- UND ENDGELAGERTE RADIOAKTIVE ABFÄLLE IM ERAM

Im ERAM sind niedrig- und mittelradioaktive Abfälle mit geringen Alpha-Aktivitäten und überwiegend kurzlebigen Radionukliden aus dem Betrieb und der Stilllegung von kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen wie auch aus dem Umgang mit Radioisotopen in Forschung, Gewerbe, Industrie und Medizin endgelagert.

Die Abfälle stammen zu einem großen Teil aus Kernkraftwerken. Da für das ERAM der Grenzwert für die Aktivitätskonzentration der Alpha-Strahler sehr gering ist ($4 \cdot 10^8 \text{ Bq/m}^3$), beträgt der Anteil der Abfälle aus Forschungseinrichtungen weniger als 10 %. Endgelagert sind feste Abfälle wie Bauschutt, Schrott, Textilien, Filter, Putzwolle, Isoliermaterialien, Armaturen und Rohrleitungen. Weiterhin wurden z. B. kontaminierte Laborabfälle, Anzeigeeinstrumente und Marschkompasse endgelagert. Flüssige Abfälle wie Filter- und Verdampferkonzentrate sowie Filterharze sind verfestigt worden. Es wurden auch umschlossene Strahlenquellen endgelagert, insbesondere solche mit Beta- und Gamma-Strahlern.

Im ERAM wurden nur radioaktive Abfälle endgelagert, die den Endlagerungsbedingungen genügten. Die endgelagerten radioaktiven Abfälle sind in der Regel in standardisierten Behältern, z. B. 200-l- bis 570-l-Fässern und zylindrischen Betonbehältern, verpackt. Bestimmte Abfälle, wie z. B. sperrige Abfälle oder Filter, sind in Sonderverpackungen eingelagert. Zu einem sehr geringen Teil sind die Abfälle unverpackt. Die Lage der Einlagerungsgrubenbaue ist in Abb. 4-1 dargestellt.

Im ERAM sind je nach Beschaffenheit des Abfalls verschiedene Einlagerungstechniken angewendet worden. Die wichtigsten sind folgende:

- Niedrigradioaktive feste Abfälle wurden in Fässern oder in zylindrischen Betonbehältern in Einlagerungsgrubenbaue auf der -372 m-Sohle (4. Sohle) gestapelt.
- Niedrig- und mittelradioaktive feste Abfälle sowie umschlossene Strahlenquellen wurden im Südfeld von der -372 m-Sohle (4. Sohle) aus in darunter liegende Hohlräume der -395 m-Sohle (5a-Sohle) verstrützt.
- Ebenfalls im Südfeld von der -372 m-Sohle (4. Sohle) aus wurden niedrigradioaktive flüssige Abfälle in die Abbaue 2 und 3 eingebracht und mit Braunkohlenfilterasche verfestigt.
- Umschlossene Strahlenquellen und geringe Mengen fester mittelradioaktiver Abfälle wurden in sieben Spezialcontainern (Stahlzylinder) mit einem Volumen von je 4 l im Untertage-Messfeld (UMF) in Sohlenbohrlöchern mit dem Ziel der Endlagerung eingebracht.
- Weiterhin ist im Ostfeld in einem Sohlenloch in einer abgemauerten Nische ein 280-l-Fass mit Ra-226-Abfällen in einem Betonbehälter zwischengelagert.

Die zwischengelagerten und während der Stilllegung noch anfallenden betrieblichen radioaktiven Abfälle sollen im ERAM endgelagert bzw. extern entsorgt werden.

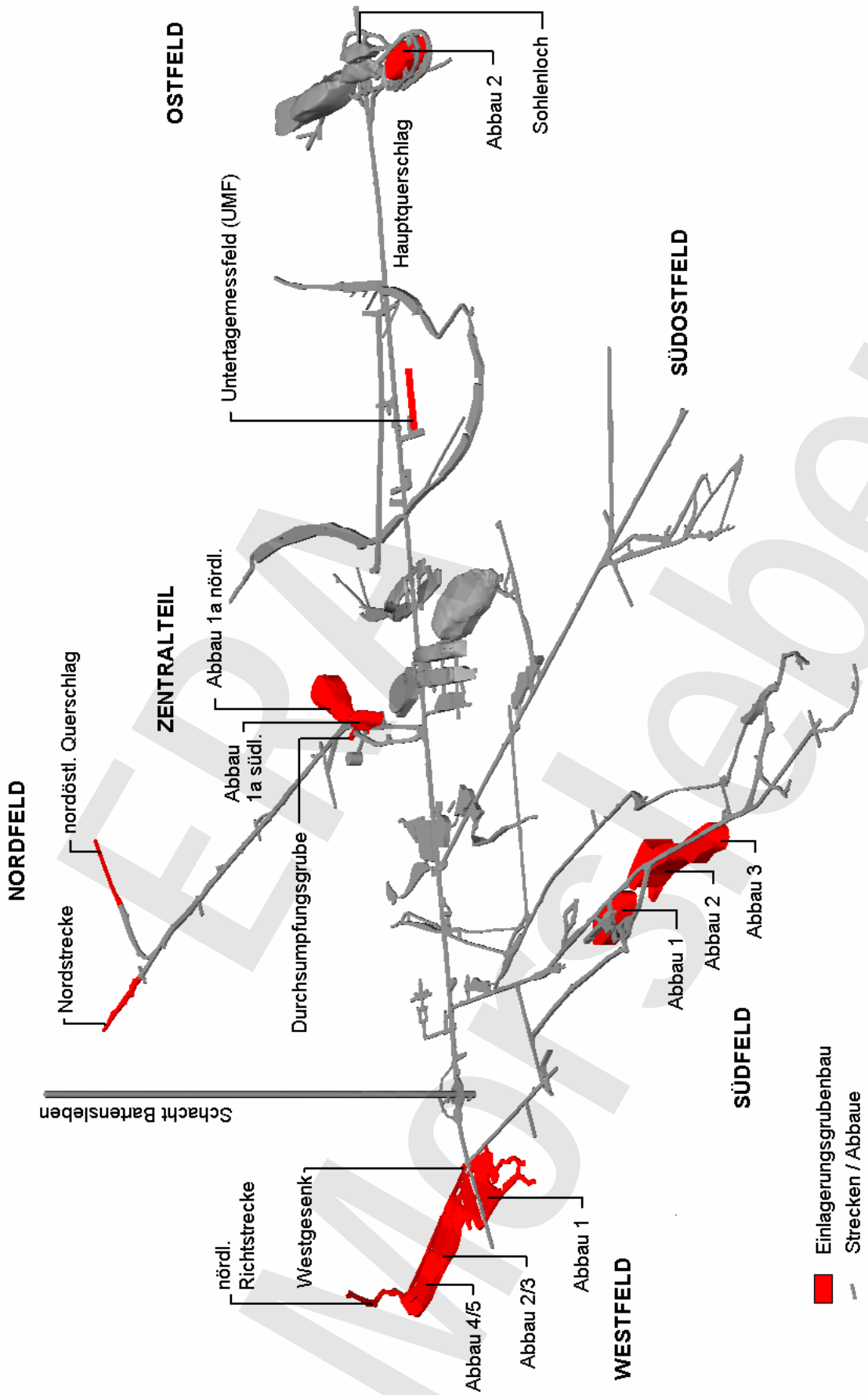


Abb. 4-1: Übersicht der Einlagerungsgrubenbaue.

Tab. 4-1: Einlagerungsgrubenbaue für radioaktive Abfälle im ERAM.

Einlagerungs- bereich	Sohle	Einlagerungsgrubenbau	Abfallvolumen in m ³
Nordfeld	4	Nordstrecke (Ende) und nordöstlicher Querschlag	1.701
Zentralteil	4a	Abbaue 1a südlich und 1a nördlich	133
Zentralteil	4	Durchsumpfungsrube	24
Südfeld	5a	Abbau 1	1.013
Südfeld	5a	Abbau 2	1.498
Südfeld	5a	Abbau 3	7.608
Westfeld	4	Nördliche Richtstrecke/ Abbau 4/5 (Westfeld 1)	6.249
Westfeld	4	Westgesenk	61
Westfeld	4	Abbau 1, 2/3 (Westfeld 2)	12.327
Ostfeld	4	Abbau 2 und Sohlenloch	6.140
UMF	4	Sohlenbohrlöcher	ca. 0,03

Die Abfalldaten der eingelagerten radioaktiven Abfälle sind archiviert.

Im Endlager Morsleben (ERAM) wurden im Zeitraum von 1971 bis 1998 insgesamt ca. 36.754 m³ radioaktive Abfälle endgelagert. Von dieser Gesamtmenge entfallen 14.432 m³ auf die Abfälle, die im Zeitraum von 1971 bis 1991 im ERAM endgelagert wurden. 22.320 m³ radioaktive Abfälle wurden in der Zeit vom Januar 1994 bis September 1998 im ERAM endgelagert. Weiterhin wurden 6.617 umschlossene Strahlenquellen endgelagert. Von 1971 bis 1991 wurden radioaktive Abfälle mit einer Aktivität von ca. $7,6 \cdot 10^{13}$ Bq endgelagert, die Aktivität der von 1994 bis 1998 endgelagerten Abfälle beträgt ca. $5,1 \cdot 10^{13}$ Bq.

Zu Beginn der Verfestigung flüssiger Abfälle im Abbau 3 sind ungeplant kontaminierte Lösungen in die Unterwerksbaue auf der -500 m-Sohle (7. Sohle) abgeflossen, inzwischen aber soweit verdunstet, dass keine oder nur noch Reste vorhanden sein können. Die Radionuklide befinden sich in den auskristallisierten Salzen. Die Aktivität der abgeflossenen Abfälle ist in der Aktivitätsbilanz der Abfälle im Abbau 3 enthalten. Die Lösungen/Salze befinden sich am tiefsten Punkt der Grube und ihre Lage ist nach der Verfüllung höher gelegener Hohlräume isoliert.

Neben den endgelagerten radioaktiven Abfällen sind im ERAM auch radioaktive Abfälle zwischengelagert. Es handelt sich bei diesen Abfällen um Radium-Abfälle in einem 280-l-Fass sowie in Spezialcontainer verpackte Strahlenquellen (überwiegend Co-60) höherer Aktivität. Diese zwischengelagerten Abfälle befinden sich bereits in einem endlagerechten Zustand, sodass im Hinblick auf die beabsichtigte Endlagerung dieser Abfälle im Rahmen der Stilllegung keine weiteren technischen Maßnahmen erforderlich sind. Die Aktivität dieser Abfälle in den Sohlenbohrlöchern beträgt ca. $3,9 \cdot 10^{14}$ Bq.

Die Gesamtaktivität aller eingelagerten radioaktiven Abfälle beträgt weniger als $6 \cdot 10^{14}$ Bq, die Aktivität der Alpha-Strahler liegt in der Größenordnung von 10^{11} Bq.

4.2 BETRIEBLICHE RADIOAKTIVE ABFÄLLE

Im ERAM fallen in den ersten Jahren der Stilllegung flüssige und feste betriebliche radioaktive Reststoffe an, die im ERAM als Abfall im Bereich der 4. Sohle (-372 m-Sohle) endgelagert werden, soweit sie nicht für eine konventionelle Entsorgung freigegeben werden können. Gegebenenfalls erfolgt für geringe Mengen eine externe Entsorgung.

Es handelt sich bei den flüssigen radioaktiven Abfällen um kleine Mengen kontaminierter Betriebs- und Lösungsmittel sowie wässrige Flüssigkeiten aus Dekontaminationsvorgängen (bis zu 30 m^3). Weiterhin fallen feste Mischabfälle (bis zu 50 m^3) und metallischer Schrott (bis zu 180 m^3) an.

Die Aktivitäten der flüssigen und festen Abfälle sind in den Aktivitätsangaben der bereits endgelagerten Abfälle mit enthalten.

Die im Stilllegungsbetrieb anfallenden Betriebs- und Lösungsmittel und Szintillatorflüssigkeiten werden extern entsorgt. Die wässrigen Flüssigkeiten einschließlich der Rückstellproben aus dem Laborbereich werden in der Konditionierungsanlage im ERAM konditioniert, betrieblich kontrolliert und anschließend endgelagert. Die kontaminierten festen Mischabfälle, der Bauschutt und der metallische Schrott werden ebenfalls im ERAM endgelagert.

Neben den oben genannten Abfällen fallen noch einige Strahlenquellen an, die für Kalibrierungszwecke verwendet werden. Diese Strahlenquellen werden extern entsorgt bzw. endgelagert.

4.3 BETRIEBLICHE UND SONSTIGE NICHT RADIOAKTIVE ABFÄLLE

Im ERAM befinden sich zusätzlich nicht radioaktive Abfälle, deren Rückholung nicht vorgesehen bzw. nicht möglich ist. Es handelt sich sowohl um bergbauliche als auch um betriebliche Abfälle. Beispiele für bergbauliche Abfälle sind Schienen, Schwellen, Maschinen, Seile und Kabel. Beispiele für betriebliche Abfälle sind Altbehälter, Hantierungseinrichtungen aus den Einlagerungsbereichen, Lüfter, Rohre, Einrichtungsgegenstände der Zentralwerkstatt sowie Fahrzeuge. Im Zuge der Stilllegung werden Bau- und Abbruchabfälle sowie metallischer Schrott in einer Menge von ca. 350 t/a anfallen.

Insgesamt handelt es sich um ca. 4.540 t nicht radioaktive und zum Teil kontaminierte Materialien in den Grubengebäuden Bartensleben und Marie, die zur Gasbildung beitragen können.

5 AUSLEGUNGSGRUNDLAGEN FÜR DIE STILLLEGUNG

Voraussetzung für die Feststellung des Plans zur Stilllegung des ERAM ist gemäß § 9b Abs.4 Nr.1 AtG in Verbindung mit § 7 Abs. 2 Nr.2 AtG insbesondere, dass die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden getroffen ist.

Dazu ist erforderlich, dass das gesamte Endlager nach Beendigung der Betriebsphase sicher gegen die Biosphäre abgeschlossen wird. Nach der Stilllegung dürfen Radionuklide, die als Folge von nicht auszuschließenden Transportvorgängen aus einem verschlossenen Endlager in die Biosphäre gelangen können, nicht zu effektiven Individualdosen führen, die die Werte des § 47 StrlSchV-Verordnung (StrlSchV) überschreiten.

Gemäß § 6 Abs. 1 und 2 in Verbindung mit § 2 Abs. 1 Buchst. c) StrlSchV hat, wer eine Anlage des Bundes zur Endlagerung errichtet und betreibt,

- jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination von Personen, Mensch und Umwelt zu vermeiden und
- jede Strahlenexposition oder Kontamination von Personen, Sachgütern und der Umwelt unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalls auch unterhalb der festgesetzten Grenzwerte so gering wie möglich zu halten.

Zum Abschluss des Endlagers kommt eine Kombination mehrerer unterschiedlicher Barrieren zur Anwendung. Durch einzelne oder die Summe dieser Barrieren wird sichergestellt, dass nach menschlichem Ermessen keine unzulässige Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Biosphäre erfolgt. Auch unterhalb des Wertes von 0,3 mSv/a werden mögliche Strahlenexpositionen und Kontaminationen minimiert, soweit dies bei Beachtung des Grundsatzes der Verhältnismäßigkeit vertretbar ist.

Die Endlagerung der radioaktiven Abfälle im ERAM ist wartungsfrei und zeitlich unbefristet, sodass in der Nachbetriebsphase kein Kontroll- und Überwachungsprogramm erforderlich ist.

Im Rahmen der nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderlichen Schadensvorsorge gilt ferner das Schutzziel der Gewährleistung der langfristigen Kritikalitätssicherheit für die endgelagerten Radionuklide.

Ferner sind folgende weitere Schutzziele bei der Stilllegung zu beachten:

- Begrenzung möglicher Senkungen an der Tagesoberfläche als Folge der Konvergenz,
- Vermeidung schädlicher Verunreinigungen oder sonstiger nachteiliger Veränderungen des Grundwassers.

Für den Stilllegungsbetrieb sind die folgenden konventionellen und radiologischen Schutzziele zu Grunde zu legen:

- Gewährleistung der konventionellen Sicherheit des Stilllegungsbetriebs und der Beschäftigten während des Stilllegungsbetriebs,
- Vermeidung, Verminderung und Begrenzung der konventionellen Belastung von Mensch und Umwelt durch Emissionen und des Anfalls von nicht radioaktiven Abfällen,
- Vermeidung, Minimierung und Begrenzung der Kontamination und Strahlenexposition von Mensch und Umwelt im bestimmungsgemäßen Betrieb und bei Störfällen,
- Kritikalitätssicherheit im Endlager während des Stilllegungsbetriebs.

Das Erreichen der Schutzziele wird durch Sicherheitsanalysen für den Stilllegungsbetrieb nachgewiesen. Zusätzlich zu den genannten Schutzzielen sind weitere Anforderungen insbesondere folgender Gesetze und Verordnungen berücksichtigt: Atomgesetz (AtG), Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG), Wasserhaushaltsgesetz (WHG), Wassergesetz für das Land Sachsen-Anhalt (WG LSA), Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG), Naturschutzgesetz des Landes Sachsen-Anhalt (NatSchG LSA), Bundesberggesetz (BBergG), Baugesetzbuch (BauGB), Sprengstoffgesetz (SprengG), Strahlenschutzverordnung (StrlSchV), Bergverordnung zum gesundheitlichen Schutz der Beschäftigten (GesBergV), Grundwasserverordnung, Bauordnung des Landes Sachsen-Anhalt (BauO LSA).

6 STILLLEGUNGSKONZEPT

Es wurden mehrere Stilllegungsvarianten untersucht. Dazu gehören:

- Kapselung im nahen Umfeld der Einlagerungsgrubenbaue,
- Flutung
- Spülversatz
- Blasversatz
- Porenspeicherkonzept und
- Konzept der weitgehenden Verfüllung und Abdichtungsmaßnahmen im weiteren Umfeld von Einlagerungsgrubenbaue.

Als geeignet für die Stilllegung und den Langzeitsicherheitsnachweis hat sich im Rahmen der Prüfung der Verfahrensalternativen das Konzept mit Abdichtungsmaßnahmen im weiteren Umfeld der Einlagerungsgrubenbaue und weitgehender Verfüllung von Resthohlräumen herauskristallisiert.

Dieses Konzept sieht weitgehende Abdichtungsmaßnahmen im weiteren Umfeld der Einlagerungsgrubenbaue durch Errichten von Abdichtungen mit definierten hydraulischen Eigenschaften vor.

Der Zutritt von Lösungen in die Grubengebäude und das Auspressen kontaminierter Lösung wird durch die Abdichtungen und die abschnittsweise vollständige Verfüllung der Grubenbaue solange verzögert, dass die Radionuklide mit den ursprünglich höchsten Aktivitäten dann weitgehend zerfallen sind. Untertägige Bohrungen, durch die ein sicherheitsrelevanter Lösungs- und Schadstofftransport erfolgen könnte, werden abgedichtet.

Mit den umfangreichen bergbauerprobten Verfüllmaßnahmen wird das primäre Ziel verfolgt, das die Grubengebäude umgebende Gebirge zu stützen und dadurch seine abdichtende Wirkung (Integrität) gegenüber Deckgebirgslösungen zu erhalten. Dennoch können Lösungszutritte über mögliche Schwachstellen im Gebirge nicht vollständig ausgeschlossen werden. Bei einem solchen Lösungszutritt sorgt der hohe Verfüllgrad der Grubengebäude mit Versatz dafür, dass die insbesondere im Bereich von Kalilagern vorkommenden Auf- und Umlöseprozesse in ihrem Umfang beschränkt werden und die Stabilität der Grubengebäude erhalten bleibt. Die Möglichkeit weiterer Zutritte bleibt dann auf ein Minimum beschränkt. So ist auch sichergestellt, dass es an der Tagesoberfläche nicht zu senkungsbedingten Schäden kommt.

Die Schächte stellen potenzielle Wegsamkeiten zwischen den grundwasserführenden Schichten und den Grubengebäuden dar. Technische Barrieren (Dichtelemente) in den Schächten Bartensleben und Marie behindern den Zutritt von Lösungen in die verfüllten Grubengebäude aus den grundwasserführenden Schichten des Deckgebirges und begrenzen einen möglichen Lösungsaustritt aus den verfüllten Grubengebäuden.

Zur Erreichung der genannten Schutzziele müssen die technischen Maßnahmen Anforderungen erfüllen. Zentrale Forderung für das Erreichen der Schutzziele ist der Nachweis des stabilen Endzustandes für das stillgelegte Endlager, der die Standsicherheit der Grubenbaue und den Erhalt der Integrität der Einlagerungsbereiche umfasst. Der stabile Endzustand ist auch Voraussetzung für die Begrenzung des Transportes sowohl radioaktiver als auch nichtradioaktiver Schadstoffe in die Biosphäre.

Die Standsicherheit der Grubengebäude und die Integrität der Einlagerungsbereiche ist sowohl für das trockene als auch für das lösungsgefüllte Endlager unter Berücksichtigung von Auf- und Umlöseprozessen zu gewährleisten. Zur Gewährleistung der Standsicherheit ergeben sich Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften des Versatzes und an den Verfüllgrad. Dies wird erreicht, in dem ca. 75 % des offenen Hohlraumvolumens verfüllt wird. Dazu werden rechnerische Nachweise geführt: Das Kriterium für den Nachweis der langfristigen Standsicherheit ist die Begrenzung der Verformung an der Tagesoberfläche, die im Wesentlichen durch die Konvergenz in den Grubengebäuden bestimmt wird. Die langfristige Standsicherheit der weitgehend versetzten Grubenbaue ist gegeben, wenn die lokal veränderliche und im Laufe der Zeit abnehmende Absenkungsrate an der Tagesoberfläche den Wert von 1 mm/a nicht überschreitet.

Die Integrität (Dichtheit) des Salzgebirges kann in der Umgebung potenziell zutrittsgefährdeter Grubenbaue nicht mehr gegeben sein, da sich hier im Laufe der Zeit infolge Gebirgskonvergenz Auflockerungszonen herausgebildet haben. Die massive Stützung des Gebirges durch Versatzmaßnahmen vermeidet die Ausweitung dieser aufgelockerten Bereiche und führt langfristig durch Verheilungsprozesse infolge des Kriechens der Salzgesteine wieder zu einer intakten Salzbarriere. Die hierzu erforderliche geomechanische Stützwirkung wird durch eine weitgehende Firstanbindung des Versatzes erreicht, die eine möglichst vollständige Hohlraumverfüllung voraussetzt.

Die zu errichtenden Abdichtungen dienen der Behinderung des Transportes von Lösungen in die Einlagerungsbereiche und des Transportes von Schadstoffen aus den Einlagerungsbereichen infolge von Konvergenz- und Gasbildungsprozessen. Dies wird durch die Errichtung von Abdichtungen zwischen Einlagerungsbereichen und der übrigen Grubengebäude und durch die Verfüllung der Schächte erreicht.

Die Grubengebäude der Schachtanlagen Bartensleben und Marie werden von unten nach oben und feldeweise von außen nach innen, d. h. von den tiefsten Grubenbauen hin zu den höchsten Grubenbauen und von den am weitesten vom Schacht befindlichen Grubenbauen zum Schacht hin, verfüllt. Mit dieser Vorgehensweise wird einerseits verhindert, dass potenziell kontaminierte Lösungen aus den Einlagerungsbereichen in noch begehbare Grubenbereiche gelangen und andererseits die geomechanische Belastung der einzelnen Grubenbereiche im Rahmen des Stilllegungsbetriebes so gering wie möglich gehalten wird.

Anforderungen aus dem Ereignis Erdbeben ergeben sich wegen der nicht zu erwartenden Auswirkungen potenzieller Erdbeben nicht. Anforderungen gegen Hochwasser aufgrund der topografischen Verhältnisse bestehen ebenfalls nicht. Eine Gefährdung der radioaktiven Abfälle durch Flugzeugabsturz und Explosionsdruckwellen über Tage ist gleichfalls nicht zu besorgen, da ein solches Ereignis keinen Einfluss auf die endgelagerten radioaktiven Abfälle hat.

Im Rahmen der Stilllegung des ERAM werden insgesamt ca. 4,0 Mio. m³ Salzbeton in die Grubengebäude Bartensleben und Marie als Versatz eingebracht.

Die Weiterleitung des angelieferten Salzbetons erfolgt mit einem durchschnittlichen Tagesdurchsatz bis zu ca. 2.500 m³ über Falleitungen im Schacht Bartensleben. Der Salzbeton wird werktags weitgehend kontinuierlich, d. h. bis zu 24 Stunden täglich, eingebracht.

Der Transport aller übrigen Baustoffe und Materialien für die Verfüllung erfolgt mit der Schachtförderanlage Bartensleben.

Zu Beginn der Stilllegung erfolgt die Bewetterung des ERAM mit einer einziehenden Gesamtwettermenge von bis zu 5.500 m³/min. Die Bewetterung wird im Laufe der Stilllegung den betrieblichen Erfordernissen angepasst. Auch nach der wettertechnischen Trennung zum Ende der Stilllegung werden die Grubengebäude Bartensleben und Marie den Erfordernissen entsprechend bewettert.

Bis zur wettertechnischen Trennung der Grubengebäude Bartensleben und Marie dienen die untertägigen Verbindungen zwischen beiden Grubengebäuden auch als Flucht- und Rettungswege.

Die Abbildungen geben den schematisierten Sohlenriss der 4. Sohle (Abb. 6-1) und einen West-Ost-Schnitt durch das ERAM (Abb. 6-2) wieder.

Nach Abschluss der dargestellten Stilllegungsmaßnahmen sind die Grubengebäude durch Versatzmaßnahmen mit Salzbeton stabilisiert. Eingebrachter Altversatz ist in den Grubenbauen verblieben. Das Volumen der Grubenbaue ist entsprechend den Auslegungsanforderungen reduziert. Zum Verzögern des Lösungs- und Schadstofftransports sind Abdichtungen aus Salzbeton und Magnesiabeton errichtet. Sicherheitsrelevante Bohrungen sind ebenfalls verfüllt.

Außerdem sind die Schächte Bartensleben und Marie verfüllt und jeweils mit Abdichtungen versehen. Durch diese Maßnahmen sind die Schächte und Grubengebäude wartungsfrei und langzeitsicher verschlossen. Damit kann das ERAM als kerntechnische Anlage entwidmet und aus der atomrechtlichen Aufsicht entlassen werden.

7 STILLEGUNGSBETRIEB

7.1 BETRIEBSORGANISATION

Der Präsident des BfS ist Strahlenschutzverantwortlicher gemäß § 31 Abs. 1 Satz 1 StrlSchV und Unternehmer im Sinne des § 58 Abs. 1 Nr.1 des Bundesberggesetzes (BBergG).

Das BfS kann sich zur Erfüllung seiner Pflichten gemäß § 9a Abs. 3 Satz 2 AtG Dritter bedienen.

Die atomrechtliche und bergrechtliche Gesamtleitung des ERAM ist dem Fachgebiet „Stilllegungsprojekt/Betrieb Morsleben“ des BfS übertragen. Für die sichere und planmäßige Führung des Betriebes ist der Werksleiter und sein Stellvertreter, der Betriebsführer, verantwortlich. Ihnen unterstehen die folgenden Verantwortungsbereiche:

- Der Bereich Strahlenschutz ist zuständig für Überwachungsfunktionen im Rahmen des betrieblichen Strahlenschutzes und der Umgebungsüberwachung sowie für die Belehrung des Betriebspersonals gemäß Strahlenschutzverordnung.
- Der Bereich Stilllegungsbetrieb ist zuständig für die anforderungsgerechte Umsetzung der Stilllegungsmaßnahmen.
- Der Bereich Objektschutz gewährleistet den erforderlichen Schutz gegen Störungen oder sonstige Einwirkungen Dritter.

Der Unternehmer bestellt bzw. beruft für diese Verantwortungsbereiche jeweils verantwortliche Mitarbeiter und Beauftragte für Strahlenschutz, Arbeitssicherheit, Gefahrstoff, Sprengwesen, Bewetterung, Selbstretterwesen, Objektschutz, Abfall, Laserschutz, Gewässerschutz und betriebsärztlichen Dienst.

Der Strahlenschutzverantwortliche hat dafür zu sorgen, dass die Strahlenschutzgrundsätze und Schutzvorschriften der StrlSchV eingehalten werden. Er bestellt für die Leitung oder Beaufsichtigung dieser Tätigkeiten Strahlenschutzbeauftragte in der erforderlichen Anzahl. Die Maßnahmen der Strahlungsüberwachung erstrecken sich auf die betriebliche Strahlenschutzüberwachung und die Umgebungsüberwachung des Endlagers. Die für den Strahlenschutz wesentlichen Betriebsvorgänge werden gemäß § 34 Nr. 4 StrlSchV im Betriebsbuch Strahlenschutz dokumentiert.

Sämtliche sicherheitsbedeutsamen betrieblichen Regelungen sind im Zechenbuch, in der Gesamtbetriebsvorschrift und in den Betriebsanweisungen enthalten. Für einzelne Anlagenteile/Bauwerke werden, soweit gefordert, Betriebsbücher/Prüfhandbücher geführt. Dort werden alle wesentlichen Angaben über den betriebs- und sicherheitstechnischen Zustand der Anlagen aufgenommen.

7.2 MATERIALTRANSPORTE

Im Zuge der weitgehenden Verfüllung der Grubenbaue entsprechend der Anforderungen wird der angelieferte Salzbeton in die Salzbetonförderanlage übergeben und mittels Rohrleitungen im Schacht Bartensleben nach unter Tage befördert und dort entsprechend den aktuellen Bedingungen in den Grubengebäuden verteilt. Die Verteilung erfolgt nach einem auf die Erfordernisse des Stilllegungsbetriebes und die Einhaltung der Schutzziele ausgerichteten Verfüllplan.

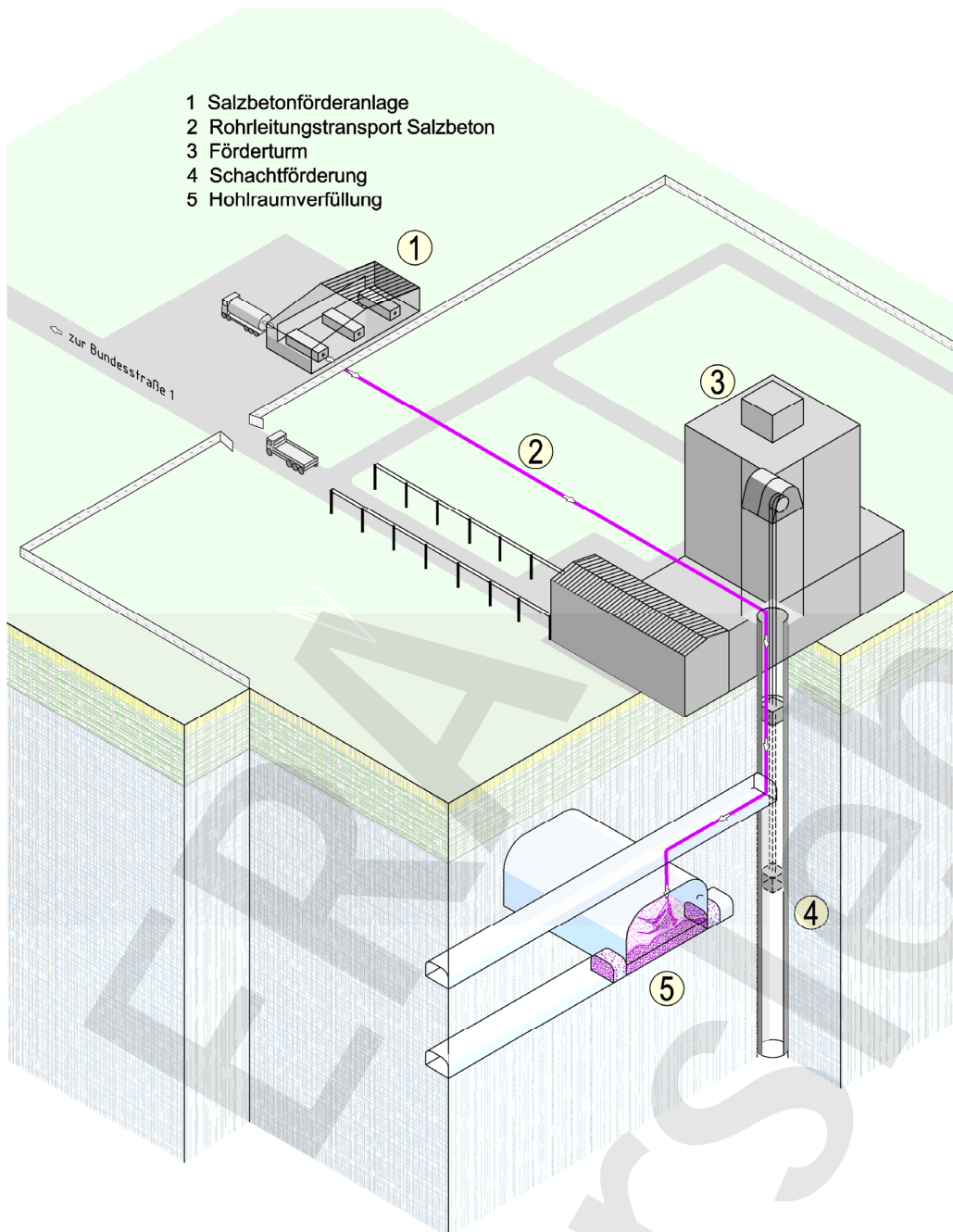


Abb. 7-1: Schematische Darstellung des Ablaufes der Verfüllung.

Neben der Durchführung der Versatzmaßnahmen und der Errichtung der technischen Barrieren zur Behinderung der Lösungstransporte werden im ERAM die geplanten Rückbaumaßnahmen durchgeführt, die untertägige Anlagen, Geräte und Ausrüstungen betreffen. Werden Anlagen, Geräte und Ausrüstungen endgültig aus dem Kontrollbereich herausgenommen, wird zuvor ein Freimess- bzw. Freigabeverfahren durchgeführt.

Nicht mehr benötigte Anlagenteile in den Grubengebäuden werden, sofern wirtschaftlich sinnvoll und vertretbar, einer weiteren Nutzung außerhalb des ERAM zugeführt oder verwertet bzw. entsorgt.

Verbleiben nicht mehr benötigte Anlagenteile im Grubengebäude, werden sie an geeigneter Stelle versetzt. Dies gilt auch für Anlagenteile mit radioaktiver Kontamination innerhalb des Kontrollbereichs. Kraftstoffe, Motor- und Hydrauliköle werden vorher entfernt und erforderlichenfalls nach Freigabe über Tage entsorgt.

7.3 VERSATZMAßNAHMEN

Als Massenbaustoff für die Versatzmaßnahmen ist Salzbeton vorgesehen. Als Salzbeton wird hier ein Baustoff bezeichnet, der aus Bindemittel (Zement), Betonzusatzstoffen (z. B. Gesteinsmehl, Steinkohlenflugasche), Zuschlägen (z. B. Salzgrus, Quarzsand) und einer Anmischflüssigkeit (z. B. Wasser, Salzlösungen) besteht. Er wird in einer Mischanlage über Tage hergestellt und über Förderanlagen mittels Rohrleitungen direkt oder über Verfüllbohrungen in die Hohlräume unter Tage gepumpt. Der Salzbeton ist so fließfähig, dass sich nahezu horizontale Lagen ausbilden, bevor er abbindet. Die Wirksamkeit des Versatzes ist abhängig vom Verfüllgrad.

Die folgende Tab. 7.3-1 weist den Umfang der Stilllegungsmaßnahme durch die Angaben zum aufgefahrenen Hohlraumvolumen, dem bereits versetzten Volumen (Altversatz), dem zusätzlich einzubringenden Salzbetonversatz und das verbleibende Resthohlraumvolumen aus.

Tab. 7.3-1: Übersicht über Hohlraum- und Versatzvolumina (ohne Schächte).

Grubengebäude	aufgefahrendes Hohlraumvolumen in Mio. m ³	Altversatzvolumen in Mio. m ³	Salzbetonvolumen bGZ in Mio. m ³	Hohlraumvolumen zu Beginn der Stilllegung in Mio. m ³	zus. Salzbetonvolumen während der Stilllegung in Mio. m ³	Resthohlraumvolumen in Mio. m ³
Bartensleben	6,1	1,0	0,8	4,3	3,2	1,1
Marie	2,6	1,5	-	1,1	0,8	0,3
Summe	8,7	2,5	0,8	5,4	4,0	1,4

Aus Gründen der Übersicht handelt es sich hier um zusammengefasste und gerundete Angaben.

Bei der Verfüllung der Grubenbaue mit Salzbeton kann Überschusslösung auftreten. Diese läuft teilweise in tiefer liegende Grubenbaue ab. Um eine Beeinflussung des Verfüllbetriebs zu verhindern, erfolgt die Verfüllung der Grubengebäude im Wesentlichen feldesweise von unten nach oben und von den äußeren Bereichen auf die Schächte zu (siehe Abb. 7-2: Verfüllen von Grubenbauen mit Salzbeton.). Damit kann auf ein planmäßiges Auffangen der potenziell anfallenden Überschusslösungen verzichtet werden.

Bei der Verfüllung von Grubenbauen im Bereich der Einlagerungsgrubenbaue kann Überschusslösung in Kontakt mit den endgelagerten radioaktiven Abfällen kommen. Um ein Abfließen solcher möglicherweise kontaminierter Wässer in betrieblich noch genutzte Bereiche ausschließen zu können, werden vor der Verfüllung großvolumiger Grubenbaue auf der 4. Sohle temporäre Abdichtungen in ausgewählten Streckenabschnitten errichtet. Bis auf die Schächte Bartensleben und Marie werden alle Grubenbaue entsprechend seiner spezifischen Anforderungen verschiedenen Verfüllkategorien zugeordnet (siehe Abb. 6-1 und Abb. 6-2).

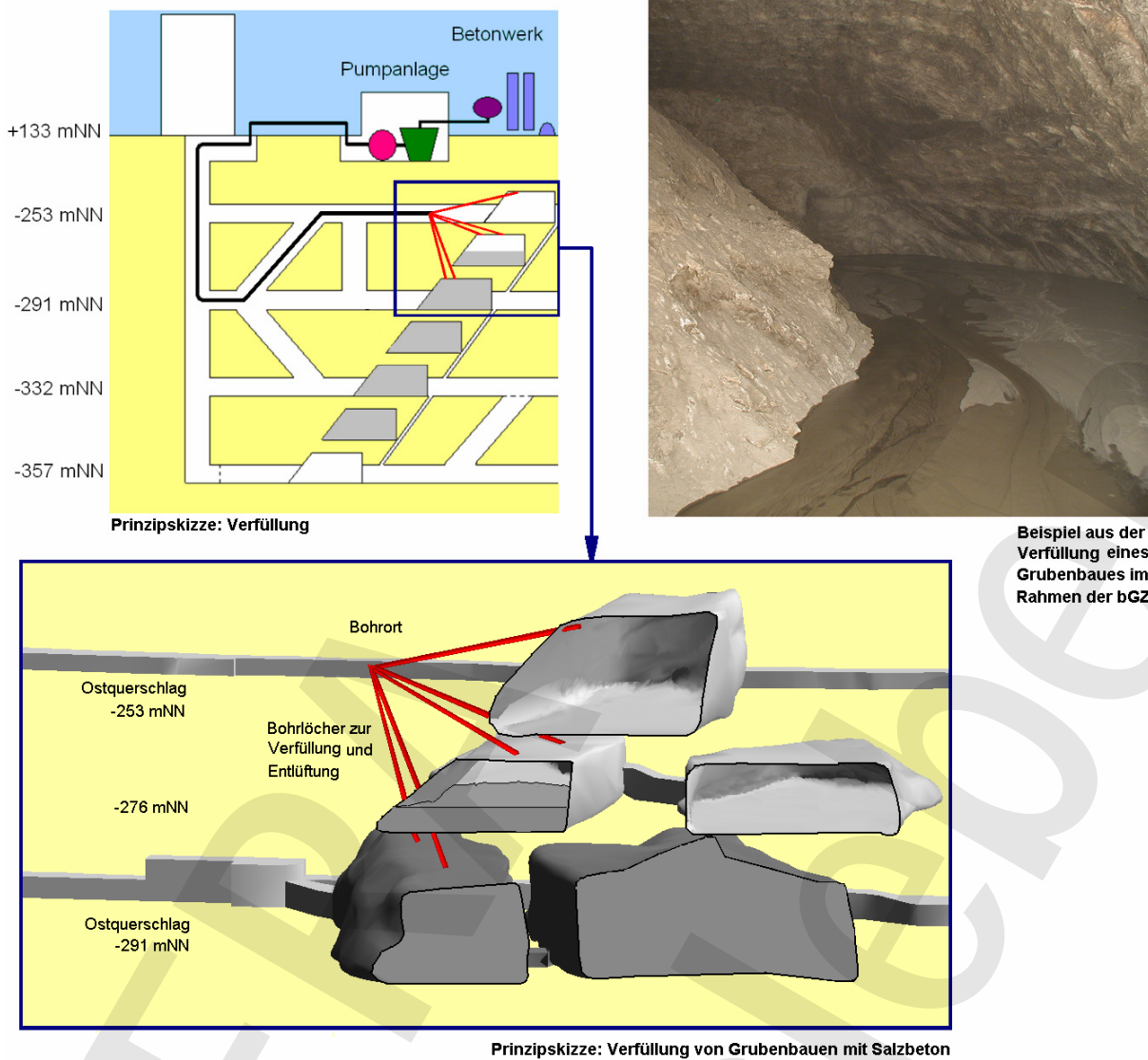


Abb. 7-2: Verfüllen von Grubenbauen mit Salzbeton.

In der Verfüllkategorie I sind diejenigen Grubenbaue enthalten, in denen Abdichtungen (siehe Abb. 7-3) errichtet werden. Im Grubengebäude Bartensleben werden in definierten Bereichen von Strecken und Rollöchern und in den beiden Verbindungsstrecken auf der 2. und 3. Sohle zum Grubengebäude Marie 22 Abdichtungen errichtet. Der Anteil der Verfüllkategorie I am gesamten Verfüllvolumen beträgt etwa 1 %.

Davon werden 20 horizontale Abdichtungen im Steinsalz mit Salzbeton, eine horizontale Abdichtung im Anhydrit mit Magnesiabeton und eine vertikale Abdichtung in einem Rollloch mit einem Dichtelement, maßgeblich aus Bitumen, abgedichtet.

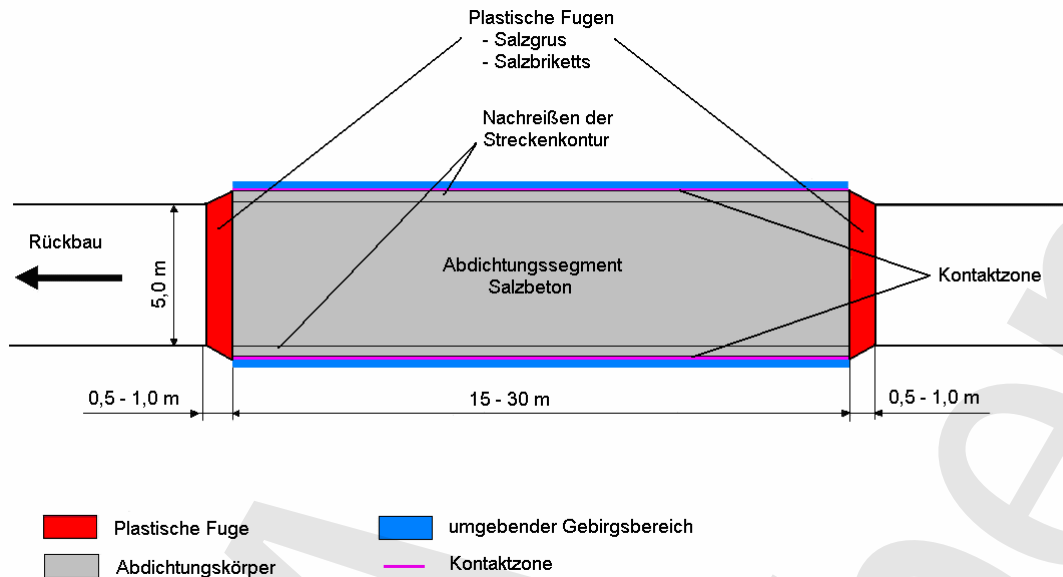


Abb. 7-3: Schematische Darstellung eines Abdichtungssegmentes im Steinsalz.

Der Verfüllkategorie II sind diejenigen Grubenbaue der Grubengebäude Marie und Bartensleben zugeordnet, die geomechanisch durch den einzubringenden Versatz zu stabilisieren sind. Hierzu gehören die Grubenbaue des Zentralteils, die im Rahmen der bGZ bereits verfüllt worden sind, sowie alle Grubenbaue, die als potenziell zuflussgefährdet bewertet werden. Der Anteil der Verfüllkategorie II am zusätzlichen Salzbetonvolumen beträgt ca. 23 %.

Die Verfüllung von Grubenbauen der Verfüllkategorie III dient hauptsächlich dazu, das vorhandene Hohlraumvolumen zu reduzieren, um Um- und Auflösprozessen bei einem nicht auszuschließenden Lösungszutritt entgegenzuwirken. Darüber hinaus haben die Verfüllmaßnahmen eine geomechanische Stützwirkung. Bei einem notwendigen Verfüllgrad von durchschnittlich 65 % pro Feldesteil in den Grubengebäuden Marie und Bartensleben ergibt sich der Anteil der Verfüllkategorie III am zusätzlichen Salzbetonvolumen zu ca. 58 %.

Unter der Verfüllkategorie IV werden alle Kalilager der Grubengebäude Marie und Bartensleben zusammengefasst. Primäres Ziel der Verfüllmaßnahmen ist es, die Um- und Auflösung leicht löslicher Kalisalzvorkommen zu begrenzen. Daher werden zu einer bestmöglichen Behinderung dieser Auflösung alle Kalilagerteile möglichst vollständig verfüllt. Der Anteil der Verfüllkategorie IV am zusätzlichen Salzbetonvolumen beträgt ca. 18 %.

7.4 VERFÜLLEN DER SCHÄCHTE BARTENSLEBEN UND MARIE

Die Verschlussysteme für die Schächte Bartensleben und Marie sind gestuft aufgebaut. Die einzelnen Elemente (Dichtelemente 1 bis 3 und asphaltdichter Kern) übernehmen dabei statische bzw. dichtende Funktionen.

Bis über das Niveau der obersten Sohle in den Schächten wird eine untere Widerlagersäule aus setzungsarmem Schotter eingebaut.

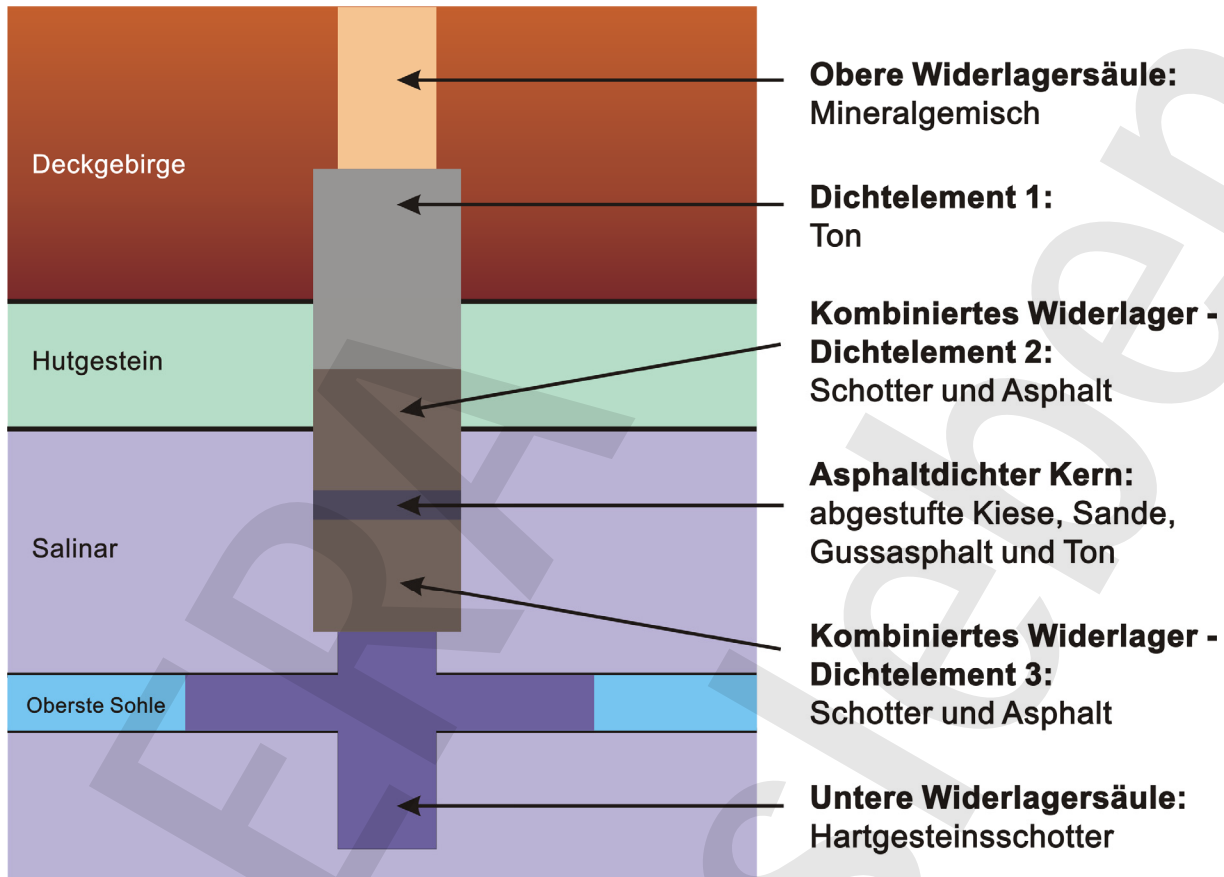


Abb. 7-4: Schachtverschlusssystem (Prinzipiskizze).

Auf der unteren Widerlagersäule lagert das aus 3 Dichtelementen und einem asphaltdichten Kern bestehende Dichtelementensystem, dessen Aufgabe die langzeitstabile Abdichtung der Schachtsäule ist. Dieses Dichtelementensystem ist in seiner Wirkungsweise redundant (mehrere Dichtelemente) und diversitär (mit verschiedenen Materialien mit unterschiedlicher Funktionsweise) aufgebaut.

Das Dichtelementensystem erstreckt sich im Schacht Marie über die Bereiche des Salinars und Hutgesteins sowie im Schacht Bartensleben über die Bereiche des Salinars und Hutgesteins und den unteren Teil des Deckgebirges. In den Bereichen der Dichtelementensysteme wird jeweils der Schachtausbau entfernt und die Auflockerungszone durch Aufweiten der Schachtquerschnittsfläche herausgenommen. Nachdem der Schacht im festgelegten Abschnitt aufgeweitet ist, werden die Dichtelemente errichtet. Das Aufweiten der Schachtquerschnittsfläche und das Verfüllen des Schachtes erfolgt im Wechselbetrieb in getrennten Arbeitsgängen.

Über dem Dichtelementensystem schließt sich jeweils die aus Mineralgemisch bestehende obere Widerlagersäule an. Aufgabe der oberen Widerlagersäule ist neben dem Lastabtrag die Verhinderung von Setzungen an der Tagesoberfläche.

8 AUSWIRKUNGEN WÄHREND DES UMRÜSTUNGS- UND STILLLEGUNGSBETRIEBES

8.1 RADIOLOGISCHE AUSWIRKUNGEN

Für die Phasen der Umrüstung auf den Stilllegungsbetrieb und des Stilllegungsbetriebes selbst sind die radiologischen Auswirkungen auf die verschiedenen Schutzgüter zu betrachten und hinsichtlich ihrer schutzgutspezifischen Relevanz im Vergleich zum bislang genehmigten Zustand zu beurteilen. Die Betrachtung und Beurteilung der radiologischen Auswirkungen in der Zeit nach der Stilllegung sind in den Langzeitsicherheitsbeurteilungen dargestellt.

Zur Beurteilung der radiologischen Auswirkungen am Standort des ERAM müssen die Vorbelastung und die zusätzliche Exposition in der Umgebung des ERAM berücksichtigt werden. Die Bewertung der Umweltauswirkungen durch das Vorhaben orientiert sich dabei am derzeit genehmigten Zustand der Anlage und berücksichtigt die im Verlauf der Umrüstungs- und Stilllegungsphase durchzuführenden Änderungen. Für den Standort des ERAM ist davon auszugehen, dass zu Beginn der Umrüstarbeiten keine radiologische Vorbelastung, die aus Tätigkeiten im Geltungsbereich der StrlSchV resultiert, mehr zu berücksichtigen ist.

Während des Umrüstungs- und Stilllegungsbetriebes ist die Ableitung flüchtiger radioaktiver Stoffe über den Luftpfad zu betrachten. Die ermittelte effektive Dosis für eine Referenzperson der Bevölkerung liegt deutlich unter dem Grenzwert des § StrlSchV von 300 $\mu\text{Sv/a}$. Mit fortschreitender Verfüllung werden die Ableitungen sukzessive verringert und damit die Dosis weiter vermindert.

Zur Verringerung der Ableitungen und damit der Dosis auf diese niedrigen Werte haben die betriebsbegleitenden Maßnahmen "Versetzen der Resthohlräume in den Einlagerungshohlräumen" und/oder "Abschluss der befüllten Einlagerungshohlräume durch Mauern und Verschlüsse" geführt.

Bei Einhaltung der Grenzwerte der §§ 46 und 47 StrlSchV sind langfristige Auswirkungen infolge Strahlung und Ableitung radioaktiver Stoffe auch auf die Pflanzen und Tiere nicht zu erwarten. Für das Schutzgut Boden sind die radiologischen Auswirkungen ebenfalls sehr gering.

Einwirkungen auf Gewässer in Verbindung mit einer schädlichen Verunreinigung des Wassers sind in Verbindung mit dem Umrüst- und Stilllegungsbetrieb des ERAM nicht zu besorgen, da bei der Stilllegung keine radioaktiven Stoffe in Gewässer eingeleitet werden.

Da die Ableitung der Wetter während des Umrüst- und Stilllegungsbetriebes nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen überwacht wird und damit die Einhaltung der festgelegten Grenzwerte gewährleistet ist, sind Verunreinigungen des Schutzgutes Luft ausgeschlossen.

Auch die übrigen Schutzgüter wie Klima, Landschaft, Kultur- und sonstige Sachgüter sind wegen der Geringfügigkeit nicht betroffen.

Die Aktivität der betrieblichen radioaktiven Abfälle ist gering. Ein sehr kleiner Teil der noch anfallenden betrieblichen radioaktiven Abfälle wird extern entsorgt und ist hinsichtlich der Auswirkungen auf die Schutzgüter in diesem Verfahren nicht zu betrachten. Die Aktivitäten der betrieblichen radioaktiven Abfälle sind bereits im genannten Inventar enthalten. Insgesamt sind durch den Umgang mit betrieblichen radioaktiven Stoffen unter Tage keine relevanten Auswirkungen zu erwarten.

Im Hinblick auf den Ausgangszustand der Bewertung sind mit der Umsetzung des Vorhabens ausschließlich positive Entwicklungen in Bezug auf die Umweltauswirkungen durch die Ableitung radioaktiver Stoffe zu verzeichnen. Mit Umsetzung der Maßnahmen dieses beantragten Vorhabens entfallen die vorgenannten Auswirkungen auf die Schutzgüter vollständig.

8.2 KONVENTIONELLE AUSWIRKUNGEN

Nach dem Planfeststellungsbeschluss zur Stilllegung des ERAM werden auf dem Gelände der Schachanlage Bartensleben zwei zusätzliche Rohrleitungen zum Einbringen des Versatzmaterials Salzbeton parallel zur vorhandenen Rohrleitungstrasse verlegt. Außerhalb der Schachanlage Bartensleben, d. h. außerhalb der kerntechnischen Anlage, erfolgt die Erweiterung der Salzbetonförderanlage und ggf. der Bau und Betrieb einer Salzbetonherstellungsanlage im Zuständigkeitsbereich eines Fremdunternehmers mit den wesentlichen Komponenten Rangierflächen, Salz bunker sowie Misch- und Dosieranlage. Zum Abschluss der Stilllegung des ERAM werden die Schächte Bartensleben und Marie verfüllt.

Die im Rahmen der Stilllegung erfolgenden Maßnahmen können Auswirkungen auf die Schutzgüter

- Mensch, einschließlich menschlicher Gesundheit;
- Tiere, Pflanzen und biologische Vielfalt;
- Boden;
- Wasser;
- Klima und Luft;
- Landschaftsbild;
- Kultur und sonstige Sachgüter;
- einschließlich der jeweiligen Wechselwirkungen

haben. Deshalb wurde im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsstudie untersucht, welchem relevanten Einfluss diese Schutzgüter ausgesetzt sind. Hierbei handelt es sich insbesondere um Einwirkungen der Wirkfaktoren Lärm, Luftschadstoffe und Licht. Ebenso wurden die Auswirkungen der im Rahmen der Stilllegung erfolgenden Bodenversiegelungen betrachtet.

Beeinträchtigungen der Funktion des Naturhaushaltes auf der Schachanlage Bartensleben durch dort die erfolgende kleinflächige Bodenversiegelung und das baubedingte Entfernen von vorhandener Vegetation können durch Neuanlage ähnlicher oder höherwertiger Biotope vor Ort ausgeglichen werden. Entsprechende Beeinträchtigungen durch die geplante großflächige Bodenversiegelung außerhalb der kerntechnischen Anlage und das dortige baubedingte Entfernen von Vegetation können durch Maßnahmen im Anlagenumfeld kompensiert werden, ebenso wie die Beeinträchtigung des Landschaftsbildes durch die geplanten Bauten südlich der Schachanlage Bartensleben.

Folgende Auswirkungen für das Schutzgut Mensch, einschließlich der menschlichen Gesundheit, werden sich durch die Stilllegungsmaßnahmen ergeben:

- Beeinträchtigung von Flächen mit Wohn- und Wohnumfeldfunktion im unmittelbaren Anlagenumfeld durch den Betrieb der geplanten Salzbetonherstellungsanlage, der Salzbetonförderanlage und den Lieferverkehr sowie den Betrieb der Bewetterungsanlagen der Schachanlagen Bartensleben und Marie.

Die jeweiligen Grenzwerte für Schallimmissionen, Lichtimmissionen, Erschütterungen und zur Luftschadstoffbelastung werden jedoch sicher eingehalten.

- Beeinträchtigung von Flächen mit Wohn- und Wohnumfeldfunktion im unmittelbaren Anlagenumfeld durch technische Bauwerke in unmittelbarer Nachbarschaft der südlich der Schachanlage Bartensleben geplanten Salzbetonherstellungsanlage.

In Bezug auf die Umweltauswirkungen durch Ableitungen radioaktiver Stoffe aus dem ERAM ist – bezogen auf den Ausgangszustand – mit dem Stilllegungsvorhaben eine positive Entwicklung zu verzeichnen. Positiv wird sich auch die mit Stilllegung des ERAM entfallende Einleitung salzhaltiger Schachtwässer auf die natürlichen Standortbedingungen für Arten im und am Salz bach auswirken.

8.3 ZUSAMMENFASSENDE BEURTEILUNG DER UMWELTAUSWIRKUNGEN

In Kapitel 8.1 wird dargestellt, dass für alle Schutzgüter insgesamt gesehen aufgrund der Unterschreitung der für den Menschen geltenden Dosisgrenzwerte (§§ 46 und 47 StrlSchV) die radiologischen Auswirkungen infolge der Ableitungen radioaktiver Stoffe gering sind.

Mit Umsetzung der Maßnahmen des beantragten Vorhabens entfallen die vorgenannten radiologischen Auswirkungen auf die Schutzgüter vollständig.

In Kapitel 8.2 werden die während der Umrüstung und Stilllegung des ERAM auftretenden wesentlichen Wirkfaktoren angeführt und hinsichtlich ihrer Auswirkungen beurteilt. Das Ergebnis lässt sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Die staubförmigen Emissionen mit den Abwettern aus den Schachtanlagen Bartensleben und Marie liegen unterhalb der hilfsweise herangezogenen Grenzwerte der TA Luft.
- Die Ableitung salzhaltiger Schachtwässer führt zu keiner signifikanten Erhöhung der Chloridkonzentration der Aller.
- Betriebliche konventionelle Abfälle werden Recyclinganlagen oder Deponien zugeführt, soweit sie nicht im ERAM selbst verbleiben.
- Die von der Anlage einschließlich des Lieferverkehrs zur Anlage durch Lkw verursachten Schallimmissionen außerhalb der Anlagengrenze liegen unterhalb der Zumutbarkeitsgrenze, d. h. unterhalb der Richtwerte der TA Lärm.
- Die vom Stilllegungsbetrieb sowie dem zugehörigen Transport- und Lieferverkehr verursachten Emissionen von Staub und Luftschadstoffen wurden für ein relevantes Beurteilungsgebiet ermittelt. Demnach ist eine geringe Zusatzbelastung um die Irrelevanzschwelle der TA Luft für Luftschadstoffe zu erwarten.
- Durch Lichtemissionen besteht eine signifikante Vorbelastung. Die durch die zu errichtende Anlage selbst und den Anlieferverkehr zusätzlich zu berücksichtigende Umweltauswirkung durch Lichtimmission wird durch geeignete Maßnahmen (z. B. Art der Beleuchtungseinrichtungen, Position und Ausrichtung) minimiert.
- Die bergbaubedingten Senkungen an der Erdoberfläche sind sehr gering; deshalb sind hierdurch keine nachteiligen Auswirkungen auf die Umwelt zu erwarten.

Alle konventionellen Wirkfaktoren sind unerheblich.

Mit Abschluss des Vorhabens entfallen die ersten vier der oben genannten Umweltauswirkungen des bisherigen Betriebes vollständig.

Über Wechselbeziehungen zwischen den Wirkfaktoren, insbesondere durch emittierte radioaktive und konventionelle Substanzen, werden keine signifikanten Veränderungen der Schutzgüter erwartet. Bereits die direkten Auswirkungen auf die Schutzgüter (Luft- und Wasserpfad) werden als unerheblich bewertet. Eine kumulative Wirkungserhöhung ist nicht gegeben.

Eine Gesamtbeurteilung der einzelnen Umweltauswirkungen der Stilllegung des ERAM kommt daher zu dem Ergebnis, dass die Umweltauswirkungen unerheblich sind.

Alle betrachteten radiologischen und konventionellen Auswirkungen sind unerheblich. Wechselwirkungen zwischen den radiologischen und konventionellen Emissionen, die zu einer Verstärkung oder Veränderung der Auswirkungen im Bezug auf den bislang genehmigten Anlagenzustand führen, treten nicht auf.

Für alle Schutzgüter werden die vorgeschriebenen Grenzwerte eingehalten.

9 SICHERHEITSANALYSEN

In den Sicherheitsanalysen werden alle Gesichtspunkte untersucht, die für die Sicherheit des ERAM während und nach der Stilllegung von Bedeutung sind.

9.1 STANDSICHERHEIT DER GRUBENGEBÄUDE WÄHREND DES STILLLEGUNGSBETRIEBES

Durch die beim Abbinden des Salzbetons freiwerdende Wärme und durch das Gewicht des Versatzmaterials kommt es während der Verfüllphase zu unterschiedlichen Beanspruchungen des Gebirges. Dadurch und durch die Art und Reihenfolge der Verfüllmaßnahmen ergeben sich unterschiedliche Bauzustände. Für die Sicherheit des Stilllegungsbetriebes ist es von Bedeutung, dass für diese Bauzustände

- die Standsicherheit der gesamten Grubengebäude nachgewiesen wird und
- der Arbeitsschutz in den betrieblich genutzten Grubenbauen gewährleistet ist.

Die Reihenfolge der Verfüllmaßnahmen sowie der Durchbauungsgrad der Grubengebäude werden in den rechnerischen Nachweisen berücksichtigt. Ausgehend vom Spannungs- und Verformungszustand des Gebirges vor Beginn der Stilllegungsmaßnahmen wird der Ablauf der Verfüllmaßnahmen unter Berücksichtigung der Eigenschaften der Versatzmaterialien und deren Temperaturentwicklung während des Abbindens rechnerisch simuliert. Die Standsicherheit für die gesamten Grubengebäude wurde für alle Bauzustände während des Stilllegungsbetriebes nachgewiesen. Auf der Basis dieser Analysen wurde auch der Erhalt der Integrität der Einlagerungsbereiche nachgewiesen.

Die Bewertung der Arbeitssicherheit erfolgt vorrangig auf der Grundlage der bergmännischen Einschätzung vor Ort unter Beachtung der Betriebs- und Arbeitsvorschriften. Weitere Hilfsmittel bei der Bewertung der Arbeitssicherheit sind die Berechnungen sowie Ergebnisse geotechnischer Messungen und Erkundungen (z. B. Radarmessungen). In Bereichen, für die die Arbeitssicherheit mit diesem Instrumentarium nicht ausgewiesen worden ist, greifen technische/organisatorische Maßnahmen.

9.2 RADIOLOGISCHE VERHÄLTNISSE IM BESTIMMUNGSGEMÄßEN STILLLEGUNGSBETRIEB

Im ERAM werden keine radioaktiven Abfallgebinde zur Endlagerung mehr angenommen. Es wird nur noch kurzzeitig mit betrieblichen radioaktiven Reststoffen und kontaminierten Anlagenteilen umgegangen. Nachfolgend werden die radiologischen Verhältnisse während der Umrüstung und Stilllegung bis zum Abschluss der Verfüllung dargestellt und bewertet.

Direktstrahlung

Im übertägigen Bereich des ERAM wird sich die Ortsdosis zu Beginn der Stilllegung nicht wesentlich von der auch außerhalb der Anlage vorhandenen Grundbelastung unterscheiden, da der übertägige Kontrollbereich vor Beginn der Stilllegung rückgebaut und die Kontaminationsfreiheit aller Anlagen, Gebäude und Bodenflächen auch außerhalb des Kontrollbereichs durch geeignete Freimessungen sichergestellt wird.

Zu Beginn der Stilllegung führt die ionisierende Strahlung in der unmittelbaren Nähe der abgeschlossenen Einlagerungsgrubenbaue, in denen radioaktive Abfälle eingelagert sind, zu einer Ortsdosisleistung von weniger als $1 \mu\text{Sv/h}$. Über den Sohlenbohrlöchern des UMF, in denen die Spezialcontainer zwischengelagert sind, liegt die gemessene Dosisleistung ebenfalls deutlich unter $1 \mu\text{Sv/h}$. Eine rechnerische Abschätzung ergibt auch für das Ostfeld, in dem die radioaktiven Abfallgebände während des Offenhaltungsbetriebs mit Salzgrus überdeckt werden, eine Dosisleistung unter $1 \mu\text{Sv/h}$.

Im Bereich der Konditionierungsanlage ist für Orte, an denen kurzzeitige Arbeiten in Fassnähe durchgeführt werden, abdeckend mit einem Wert von max. $70 \mu\text{Sv/h}$ zu rechnen.

In allen übrigen begehbaren Bereichen der Grubengebäude liegt die Ortsdosisleistung auf dem Niveau des natürlichen, vor allem durch den K-40-Gehalt des Salzgesteins bestimmten Untergrundpegels in Höhe von ca. $0,1 \mu\text{Sv/h}$. Dieser Wert wird auch im gesamten noch begehbaren Grubengebäude erreicht, wenn die Stilllegungsmaßnahmen in den Einlagerungsbereichen beendet sind.

Aktivitätsfluss und Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern

Auf Grund der Überdeckung der Abfälle und der Abmauerungen der Einlagerungsbereiche gelangen nur noch geringe Mengen flüchtiger radioaktiver Stoffe in die beweterten Grubengebäude. Für die Freisetzung flüchtiger radioaktiver Stoffe werden folgende ursächliche Mechanismen betrachtet:

- Gasbildung,
- Konvergenz der Einlagerungsgrubenbaue,
- Atmosphärisch und betrieblich bedingte Luftdruckschwankungen,
- Mobilisierung von Oberflächenkontaminationen durch die Bewetterung und
- Radioaktiver Zerfall von Rn-222 innerhalb der Grubengebäude.

Im normalen Stilllegungsbetrieb werden die entstehenden flüchtigen radioaktiven Stoffe durch die Bewetterung des ERAM abgeführt. Ein Ausfall der Bewetterung und der Stromversorgung (unterstellter anomaler Betrieb) führt nicht zu zusätzlichen Freisetzungen oder Ableitungen radioaktiver Stoffe. Es wird sich zwischen- und kurzzeitig die Aktivitätskonzentration in den Tätigkeitsbereichen erhöhen. Die zulässigen Maximalwerte für die Jahresableitung flüchtiger radioaktiver Stoffe mit dem Abwetterstrom werden bei einem unterstellten 24-stündigem Lüfterausfall nicht überschritten.

Durch die fortschreitenden Stilllegungsmaßnahmen werden Ableitungen flüchtiger radioaktiver Stoffe aus den endgelagerten radioaktiven Abfällen zurückgehen. Nach Beendigung der Stilllegungsmaßnahmen und der Einstellung der Bewetterung werden keine radioaktiven Stoffe aus den Grubengebäuden mehr abgeleitet.

Während der Verfüllung können beim Abbinden des Salzbetons Überschusslösungen entstehen. Bei der Verfüllung von Einlagerungsgrubenbauen sowie der darüber liegenden Grubenbaue kann nicht ausgeschlossen werden, dass diese Überschusslösungen zur Beaufschlagung der Abfälle führen. Dadurch können in den Einlagerungsgrubenbauen Lösungen vorhanden sein, die potenziell mit radioaktiven Stoffen kontaminiert sind.

Durch die Verfüllreihenfolge und durch Abdichtungen und Verschlüsse von Grubenbauen wird sicher verhindert, dass kontaminierte Überschusslösungen während der Stilllegungsphase in noch betrieblich genutzte Grubenbaue gelangen. Eine zusätzliche Freisetzung von flüchtigen radioaktiven Stoffen in die Grubenwetter ist nicht zu besorgen.

Aktivität in Wässern

Abwässer mit geringem radioaktivem Aktivitätsgehalt können bei Dekontaminationsarbeiten anfallen und werden nach Freimessung entweder betriebsintern unter Tage verwendet, nach den Regeln der StrlSchV abgegeben oder für Fälle, bei denen eine Freigabe nicht möglich ist, nach einer Konditionierung als betrieblicher radioaktiver Abfall im ERAM endgelagert. Eine Ableitung radioaktiver Abwässer erfolgt nicht.

Strahlenexposition des Personals

Die Grenzwerte für beruflich strahlenexponierte Personen werden bei einer jährlichen Aufenthaltszeit von 1.400 h, die den spezifischen Bedingungen des ERAM entspricht, weit unterschritten. Bei der Ermittlung der inneren Strahlenexposition sind die Aktivitätskonzentrationen in den Wettern sowohl für H-3, C-14 und Rn-222 als auch für die Folgeprodukte des Rn-222 einbezogen. Die Auswertung der betrieblichen Überwachung der Aktivitätskonzentration in den Wettern zeigt, dass nach Beendigung des Einlagerungsbetriebes die max. Aktivitätskonzentrationen der inneren Strahlenexposition für Personal stets unterschritten wurde.

Strahlenexposition in der Umgebung

Die Höhe der Strahlenexposition von Personen aus der Bevölkerung in der Umgebung des ERAM wird vor allem durch die Aufnahme über Lebensmittel bestimmt, während Inhalation und äußere Bestrahlung einen deutlich geringeren Beitrag zur Dosis liefern. Die wichtigsten Radionuklide für die effektive Strahlenexposition durch die Ableitung aus den Schächten Bartensleben und Marie sind Pb-210 und seine radioaktiven Folgeprodukte sowie C-14, H-3 und Rn-222. Zur Exposition der Lunge tragen auch die kurzlebigen Radonfolgeprodukte signifikant bei. Im Falle einiger Organe ist das langlebige Radonfolgeprodukt Pb-210 mit seiner Tochter Po-210 von besonderer Bedeutung.

Die potenzielle Strahlenexposition von Personen aus der Bevölkerung wurde berechnet. Sie liegt bei der effektiven Dosis für die kritischen Altersgruppen mit weniger als 10 $\mu\text{Sv/a}$ sowie bei den Organdosen der kritischen Organe weit unterhalb der Dosisgrenzwerte des § 47 StrlSchV. Damit werden die Grenzwerte der §§ 46 und 47 StrlSchV für die effektive Dosis wie auch die Grenzwerte der Organdosen sicher eingehalten.

Wirkung der Strahlung auf das Salzgestein

Auf Grund der Energiedosisleistungen der eingelagerten Abfälle sind Wirkungen ionisierender Strahlung auf das umgebende Salzgestein ausschließlich für die in den Sohlenbohrlöchern des UMF in Spezialcontainern befindlichen Abfälle zu betrachten. Die Wirkung der Strahlung auf das Salzgestein ist auf die unmittelbare Umgebung der Spezialcontainer beschränkt und zeigt sich in der Temperaturerhöhung am Bohrlochrand, die weniger als 10 Kelvin gegenüber dem ungestörten Gebirge beträgt. Der Wärmeeintrag in das Salzgestein hat keinen Einfluss auf die Gasbildung, da nennenswerte Effekte erst ab ca. 100 °C bis 150 °C auftreten. Zonale oder globale Auswirkungen auf das Kriechverhalten des Salzgesteins sind ebenfalls nicht zu erwarten.

Die Entstehung von H₂ und CO₂ auf Grund stattfindender Radiolyse ist gering. Mehr als 90 % des auf Grund der Radiolyse möglichen Gasvolumens sind zum Vorhabensbeginn bereits gebildet und mit den Wettern abgeführt. Die verbleibende, noch zu bildende Gasmenge von weniger als 1 l je

Spezialcontainer, d. h. weniger als 7 l insgesamt, lässt auch langfristig keine Auswirkungen von sicherheitstechnischer Relevanz erwarten.

9.3 STÖRFALLANALYSEN

Im Rahmen der erforderlichen Vorsorge gegen Schäden gemäß § 7 Abs.2 Nr. AtG ist für den Stilllegungsbetrieb eine Störfallanalyse durchzuführen. In der Störfallanalyse wird für den Stilllegungsbetrieb nachgewiesen, dass

- entweder eine ausreichende Vorsorge gegen Störfälle nach dem Stand von Wissenschaft und Technik getroffen ist, um eine störfallbedingte Freisetzung radioaktiver Stoffe gemäß dem Vermeidungsgebot nach § 6 Abs. 1 StrlSchV auszuschließen (Definition der Störfallklasse 2).
- oder die Störfallplanungswerte nach § 49 Abs. 1 StrlSchV eingehalten werden, wobei eine störfallbedingte Freisetzung radioaktiver Stoffe gemäß dem Minimierungsgebot nach § 6 Abs.2 StrlSchV auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich gehalten wird (Definition der Störfallklasse 1),

Beruhend auf der zu Beginn des Stilllegungsbetriebes bereits vorhandenen Störfallvorsorge werden bis auf wenige Ereignisse alle betrachteten Störfälle der Störfallklasse 2 zugeordnet. Durch die bereits betriebsbegleitend durchgeführten Abdicht- und Versatzmaßnahmen und die geplanten Maßnahmen zur Stilllegung des ERAM wird die Möglichkeit einer störfallbedingten Freisetzung radioaktiver Stoffe verringert. Mit Abschluss des Betriebes werden störfallbedingte radiologische Auswirkungen schließlich vollständig vermieden.

Gegenstand der Betrachtungen sind die im ERAM eingelagerten radioaktiven Abfälle und betrieblichen radioaktiven Abfälle sowie sonstige potenziell kontaminierte Stoffe im Kontrollbereich. Stoffe mit Oberflächenkontaminationen unterhalb der in § 44 Abs.2 StrlSchV genannten Werte können außer Acht gelassen werden.

Nach kerntechnischen Gesichtspunkten werden diejenigen Störfälle identifiziert, die auf Grund der Arbeitsvorhaben und technologischen Arbeitsabläufe im Rahmen der Stilllegungsphase zu betrachten sind. Dazu zählen anlageninterne Ereignisse und Ereignisse, die durch naturbedingte und sonstige Einwirkungen von außen initiiert werden, sowie Kritikalitätsstörfälle.

Folgende anlageninterne Ereignisse werden betrachtet:

- Interner Brand oder Schwelbrand von eingelagerten radioaktiven Abfällen (Selbstentzündung)
- Thermische und mechanische Beaufschlagung der eingelagerten radioaktiven Abfälle (z. B. Maschinenbrand)
- Gebirgsmechanische Einwirkungen auf die radioaktiven Abfälle
- Unmittelbare (instantane) Freisetzung flüchtiger radioaktiver Stoffe infolge eines plötzlichen Integritätsverlustes (Undichtwerden)
- Verpuffung zündfähiger Gasgemische
- Sonstige, im Einzelfall zu betrachtende anlageninterne Ereignisse, z. B. Leckagen im Lager- und Konditionierungsbereich für flüssige radioaktive Abfälle, korrosionsbedingtes Versagen einer Verrohrung im UMF, Ereignisse im übertägigen Laborcontainer zur Umgebungsüberwachung
- Thermische und mechanische Beaufschlagung der radioaktiven Abfälle in Einlagerungs- und Betriebsbereichen durch Ferneinwirkungen (z. B. von anderen Sohlen aus).

Folgende durch naturbedingte und sonstige Einwirkungen von außen initiierte Ereignisse werden betrachtet:

- Zutritt von Schachtwässern und Salzlösungen in das Grubengebäude
- Erdbeben
- Hochwasser
- Sturm, Eis und Schnee, Blitzschlag
- Explosionsdruckwelle
- Ansaugen zündfähiger und toxischer Gase
- Flugzeugabsturz.

Der Schutz gegen Störmaßnahmen und sonstige Einwirkungen Dritter wird im Plan Sicherung behandelt, der aufgrund seines vertraulichen Inhalts der Planfeststellungsbehörde getrennt vom auszulegenden Plan vorgelegt wird.

Kritikalitätsstörfälle (sich selbst unterhaltende Kettenreaktionen) können im ERAM nicht auftreten. Dies ist eine Folge der sehr geringen insgesamt eingelagerten Spaltstoffmasse und ihrer Verteilung auf zahlreiche radioaktive Abfälle in unterschiedlichen Einlagerungsgrubenbauen. Die Bildung einer kritischen Spaltstoffanordnung kann unter diesen Gegebenheiten sowohl im Stilllegungsbetrieb als auch in der Nachbetriebsphase ausgeschlossen werden.

10 LANGZEITSICHERHEIT

Für die Erfüllung der Anforderungen (siehe Auslegungsgrundlagen Kapitel 5) sind die Gegebenheiten des Endlagers und die Verhältnisse am Standort zu berücksichtigen. Das Endlager ist in einem Bergwerk mit einer langen Bergbaugeschichte errichtet worden. Der Abbau ist in einer Weise erfolgt, bei der die spätere Nutzung des Grubengebäudes als Endlager nicht berücksichtigt wurde. Dies wird bei der Planung der Verfüll- und Verschleißmaßnahmen und beim Langzeitsicherheitsnachweis berücksichtigt.

Ziel der Maßnahmen zum Verfüllen und Verschließen des ERAM ist in erster Linie, die Integrität der Salzbarriere aufrecht zu erhalten und einen Lösungszutritt in die Grubengebäude unwahrscheinlich zu machen und zu behindern. Dennoch kann ein Lösungszutritt und eine anschließende Freisetzung von Schadstoffen aufgrund der bergbaulichen Situation nicht vollständig ausgeschlossen werden. Durch in den Grubengebäuden nach Abschluss der Stilllegungsmaßnahmen verbliebene Lösung bzw. in die verschlossenen Grubenräume zutretende Lösung kann dann kontaminierte Lösung durch Konvergenz und Gasproduktion aus den Grubengebäuden ausgepresst werden. Die dabei zu erwartenden Freisetzungsraten sind allerdings gering. Der Transport der Schadstoffe wird zeitlich so behindert, dass ein Großteil der Radionuklide bereits vor dem Erreichen der Biosphäre zerfallen ist.

Die Langzeitsicherheitsanalysen zeigen, dass durch die Stilllegungsmaßnahmen unzulässige Auswirkungen durch Freisetzung von Radionukliden oder chemischen Schadstoffen sowie durch Senkungen an der Tagesoberfläche verhindert werden.

Das Endlager wird so verfüllt und verschlossen, dass es auch in Zukunft keine unzulässigen Auswirkungen auf die Umwelt und den Menschen haben wird.

10.1 VERSATZMAßNAHMEN UNTER LANGZEITSICHERHEITLICHEN GESICHTSPUNKTEN

Mittels geomechanischer Modellrechnungen, Laboruntersuchungen, In-situ-Messungen und Vergleiche mit natürlichen Analoga wurde gezeigt, dass

- die Wechselwirkungen des Grubenbauversatzes mit dem Gebirge nicht zu unzulässigen Beanspruchungen des Versatzes führen und der Versatz der Grubenbaue somit langfristig die ihm zugeordneten Funktionen der Volumenverringerung in den Hohlräumen des ERAM und der Stützwirkung erfüllt,
- der Transport der Lösung in die Einlagerungsbereiche und nach der Mobilisierung der radioaktiven Stoffe aus den Einlagerungsbereichen heraus durch die Errichtung von Abdichtungen sowohl in zeitlicher Sicht als auch hinsichtlich der Stärke des Massenstroms ausreichend stark behindert wird,
- die qualifizierte Verfüllung der Schächte dazu führt, dass im umgebenden Gebirge keine unzulässigen Beanspruchungen auftreten und die sicherheitstechnischen Funktionen erfüllt werden. Die Schachtverfüllungen halten – basierend auf ihren Konstruktionsprinzipien – dem Gebirgsdruck und den Strömungskräften beim Zutritt von Lösungen und beim Auspressen von Lösungen aus den Grubengebäuden stand,
- die Verfüllung langzeitsicherheitstechnisch relevanter Bohrungen die Anforderungen bezüglich der Langzeitbeständigkeit und Dichtheit erfüllen und
- durch Abdichtungsbauwerke der Zutritt von Lösungen in die Einlagerungsbereiche und das Entweichen von kontaminierten Lösungen und Gasen für einen ausreichend langen Zeitraum behindert wird.

10.2 SZENARIENANALYSE

Bergbau-Szenarien

Die Entwicklung des ERAM kann in der näheren und fernerer Zukunft unterschiedlich verlaufen. Die dabei zu berücksichtigenden Einflussfaktoren können jeder für sich von untergeordneter Bedeutung sein; in der Realität kann die Kombination verschiedener Einflussfaktoren hinsichtlich zeitlicher Einwirkung und Intensität zu signifikant unterschiedlichen Ergebnissen, d. h. stark unterschiedlichen Entwicklungen des ERAM in der Zukunft führen.

Betrachtet man z. B. die seit Jahrzehnten bekannten und durchschnittlich konstanten Zutritte von Lösungen in die Grubengebäude von ca. $12 \text{ m}^3/\text{a}$ als auch zukünftig realistisch, so dauert das Volllaufen der nach der Verfüllung verbleibenden Hohlräume bei einer Konvergenzrate von $5 \cdot 10^{-5}/\text{a}$ länger als 20.000 Jahre.

Modellrechnungen mit unterschiedlichen Raten des Lösungszutritts haben eine repräsentative Dauer bis zum Volllaufen der Restgrube von 7.500 Jahren ermittelt.

Noch höhere Zutrittsraten setzen hydrogeologische Bedingungen voraus, die für die nächsten 30.000 Jahre nicht zu erwarten sind.

Die in der Umgebung des ERAM im Ersaufen befindliche und nicht verfüllte Schachanlage Walbeck-Buchberg ist so weit entfernt (ca. 2,8 km), dass durch Umlösevorgänge keine Verbindungen zu den Grubengebäuden und damit Gefährdungen des ERAM entstehen können.

Geologische Szenarien

Geologische Prozesse bewirken eine ständige Veränderung der Erdoberfläche. Die dadurch zu erwartenden Verformungsraten im Salzgebirge sind im Mittel viel kleiner als die durch den Bergbau in der Vergangenheit verursachten Verformungsraten. Laboruntersuchungen und natürliche Analoga belegen, dass das kriechfähige Salzgestein langsame Verformungen ohne Integritätsverlust erträgt.

Im Hutgestein und im Anhydrit können aber zukünftige tektonische Bewegungen über sehr lange Zeiträume zur Bildung von Wegsamkeiten führen. Dies wird durch den heutigen Zustand von Hutgestein und Anhydrit belegt. Im Hutgestein sind mit Gips gefüllte Klüfte gefunden worden. Sie zeigen, dass in die Klüfte zeitweise Wasser eingedrungen ist, die durch Neumineralisation wieder geschlossen wurden. Auch im Hauptanhydrit kommen mit Sekundärmineralen gefüllte Klüfte vor. Für sehr lange Zeiträume kann somit nicht ausgeschlossen werden, dass sich neue Wegsamkeiten für Lösungen bilden.

Szenarien, die durch Magmatismus und Vulkanismus verursacht werden, wurden im Hinblick auf ihre Relevanz für die Langzeitsicherheitsanalyse untersucht und bewertet. So wird z. B. der Vulkanismus aufgrund der 150 Mio. Jahre andauernden Ruhephase in diesem Gebiet als relevanter Prozess ausgeschlossen. Diese Ereignisse und Prozesse Meteoriteneinschläge können zwar nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden, jedoch ist festzustellen, dass gegen große Meteoriteneinschläge keine wirksamen Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden können und die Auswirkungen eines solchen Ereignisses unabhängig von der Existenz des ERAM katastrophaler Natur wären.

Wegen ihrer geringen Auswirkungen sind auch alle Szenarien, die durch langsame großräumige Hebungen und Senkungen, Meeresspiegelschwankungen oder Salzaufstieg verursacht werden, nicht relevant.

Klima-Szenarien

Die klimatischen Verhältnisse waren in der erdgeschichtlichen Vergangenheit ständigen Veränderungen unterworfen. Am Standort des ERAM gab es Eiszeiten mit Vorstößen von Gletschern, Warmzeiten mit subtropischem Klima und auch wüstenartige Trockenzeiten. Wie sich die klimatischen Verhältnisse aufgrund der natürlichen Entwicklung oder gegebenenfalls auch aufgrund menschlicher Einwirkungen langfristig über zehntausende oder hunderttausende Jahre entwickeln werden, ist nicht sicher prognostizierbar. Klimatische Veränderungen folgen jedoch grundlegenden naturwissenschaftlichen Gesetzmäßigkeiten, deren Zusammenwirken zwar noch nicht vollständig erforscht ist, die es aber möglich machen, die Intensität ihrer Einwirkung auf die geologischen Barrieren eines Endlagersystems abzuschätzen.

Die Wirkung klimatischer Veränderungen auf die geologischen Barrieren eines Endlagersystems beruht auf der Veränderung der Intensität geologischer und hydrogeologischer Prozesse, wie z. B. der Erosion, der Subrosion oder der Grundwasserneubildung. Untersuchungen für das ERAM haben gezeigt, dass Subrosion und Erosion durch Schmelz- und Gletscherwasser unter Eiszeitbedingungen von allen möglichen Klimaszenarien die größten potenziellen Auswirkungen auf die Barrieren des Endlagers haben können. Durch eine mächtige Eisbedeckung sind auch mechanische Einwirkungen auf die geologischen Barrieren möglich. Daher wurden mit Modellrechnungen jene Auswirkungen ermittelt, die bei einer Klimaveränderung einschließlich einer Eisbedeckung und bei einem nachfolgenden Schmelzvorgang der Eisbedeckung zu erwarten sind.

Szenarien aufgrund menschlicher Einwirkungen

Neuauffahrungen in Schachtanlagen in der Umgebung des Endlagers sowie Erkundungs- und Gewinnungsbohrungen müssen behördlich zugelassen werden. Solange die Kenntnis über die Existenz des Endlagers vorhanden ist, werden sie nur dann zugelassen, wenn sie die Sicherheit des Endlagers nicht beeinträchtigen.

Das Wissen über zivilisatorische Tätigkeiten kann jedoch verloren gehen. In der Fachwelt besteht die Auffassung, dass das Wissen über Endlager mindestens 500 Jahre erhalten bleibt. Danach kann nicht ausgeschlossen werden, dass im Bereich des Endlagers bergmännische Tätigkeiten aufgenommen werden. Die Auswirkungen eines zukünftigen unbeabsichtigten Eindringens in das Endlager wurden mit Hilfe von einfachen Modellrechnungen untersucht.

Subrosion

Die Geschwindigkeit und das Ausmaß von Subrosionsvorgängen wurden mit Modellrechnungen, geologischen Untersuchungen und über natürliche Analoga ermittelt. Die Modellrechnungen zeigen, dass unter heutigen Klimabedingungen praktisch keine nennenswerte flächenhafte Subrosion stattfindet. Unter Permafrostbedingungen würde das höchste Ausmaß an Subrosion im Allertal erreicht werden. Durch orientierende Berechnungen wurde eine Auflösung einer Steinsalzschiefe von ca. 2 m in den kommenden 150.000 Jahren ermittelt. Dies hat keine sicherheitsrelevanten Auswirkungen auf das Endlager.

10.3 KONSEQUENZANALYSE

Die Szenarienanalyse kommt zum Ergebnis, dass ein Lösungszutritt in der Nachbetriebsphase nicht ausgeschlossen werden kann.

Der Lösungszutritt führt zur Freisetzung der Schadstoffe mit der Lösung. Durch die Lösung werden aber auch gasförmige Schadstoffe gebildet und über den Gaspfad freigesetzt. Darüber hinaus wurden mögliche Freisetzungen nach unbeabsichtigten künftigen menschlichen Einwirkungen z. B. durch Erkundungsbohrungen betrachtet. Aufgrund fehlender Ressourcen im Bereich der Salzstruktur Allertal sind Bohrungen sowie eine daraus resultierende Freisetzung von Radionukliden vernachlässigbar.

Die Konsequenzanalysen behandeln in erster Linie die Freisetzung über den Lösungspfad. Für die anderen Freisetzungspfade wurden zur Ermittlung der Konsequenzen einfachere Abschätzungen durchgeführt, die die Strahlenexposition deutlich überschätzen. Detaillierte Modellrechnungen wurden zudem für Szenarien zur „trockenen Grube“ sowie für weniger wahrscheinliche Entwicklungen „mit relevantem Lösungszutritt“ durchgeführt. Die Modellrechnungen zur Freisetzung von Schadstoffen mit der Lösung erfolgten mit zwei verschiedenen Rechenprogrammen. Dies sind das Programm EMOS der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH und das Programm PROSA der Firma AF-Colenco AG.

Beide Rechenprogramme berücksichtigen in vereinfachender Weise die wichtigen Vorgänge in den Grubengebäuden und im Deckgebirge hinsichtlich der Ausbreitung der Radionuklide und der resultierenden Strahlenexposition. Die Modellansätze in den Rechenprogrammen wurden dazu jeweils an die Standortverhältnisse angepasst. In beiden Fällen wurden deterministische Berechnungen und entsprechende Parametervariationen sowie probabilistische Berechnungen zur Berücksichtigung von Daten- und Modellunsicherheiten durchgeführt.

In den Konsequenzanalysen ist das Verhalten des Endlagersystems über lange Zeiten ausreichend gut zu beschreiben, um die Konsequenzen für zukünftig lebende Menschen zu ermitteln. Für die Modellrechnungen sind umfangreiche Daten erforderlich, die aus experimentellen Untersuchungen und begleitenden Modellrechnungen abgeleitet wurden.

Die Parameter des Modellansatzes zur Beschreibung der Konvergenz von Hohlraumvolumen im Salzgestein wurden aus geomechanischen Modellrechnungen abgeleitet. Hierbei werden die Verformung des umgebenden Salzgebirges und die sich ergebende Verringerung des Volumens der Grubenbaue in Abhängigkeit von der Stützwirkung des Versatzes und des Fluiddrucks ermittelt. Für die verwendeten Stoffparameter wurden Laboruntersuchungen mit standortspezifischen Materialproben durchgeführt. Ein Vergleich der Rechenergebnisse mit In-situ-Messungen zeigt eine gute Übereinstimmung.

Mit geochemischen Modellrechnungen wurde eine Vergrößerung von Hohlräumen durch die Aufsättigung zutretender Lösungen an Steinsalz und die Umlösung an Kalisalzen untersucht. Hierbei wurden standortspezifische Zusammensetzungen der Salzgesteine berücksichtigt. Weitere Modellparameter der geochemischen Berechnungen wurden aus Laboruntersuchungen zu Umlösevorgängen ermittelt. Die geochemischen Modellrechnungen wurden darüber hinaus verwendet, um den Umfang der Carbonatisierung und damit der Rückhaltung von C-14 in den Einlagerungsgrubenbauen zu ermitteln.

Die Gasproduktion durch Korrosion von Metallen und Zersetzung organischer Stoffe wurde in Modellrechnungen unter Berücksichtigung einer Vielzahl möglicher Reaktionen untersucht. Die in diesen Rechnungen verwendeten Parameter sind durch entsprechende Laboruntersuchungen und In-situ-Messungen abgesichert. In diesen Modellrechnungen wurden alle in den Grubengebäuden vorhandenen Mengen an gasbildenden Stoffen berücksichtigt. Die Parameter der Modellansätze in den Konsequenzanalysen wurden aus den Modellrechnungen zur Gasproduktion abgeleitet.

Die Modellansätze zur Beschreibung der Permeabilitätszunahme der Abdichtungen als Folge des Durchsickerns magnesiumhaltiger Lösungen an den Salzbetonabdichtungen sowie zur Beschreibung der Korrosion von Abdichtungen aus Magnesiabeton durch das Durchsickern überwiegend NaCl-haltiger Lösungen wurden aus Laboruntersuchungen abgeleitet, die die vorgesehenen Materialzusammensetzungen und die zu erwartenden Lösungszusammensetzungen berücksichtigen. Die Laboruntersuchungen werden durch begleitende geochemische Modellrechnungen ergänzt.

Zur Beschreibung der Grundwasserbewegung außerhalb der Salzstruktur wurden Modellrechnungen sowohl für Süßwasserverhältnisse als auch unter Berücksichtigung der Versalzung des tieferen Grundwassers durchgeführt. Hierbei wurden die Angaben zur Struktur der geologischen Schichten aus den Ergebnissen der Standorterkundung abgeleitet. Zur Ermittlung der hydraulischen Eigenschaften wurden die Durchlässigkeiten der beteiligten geologischen Schichten durch Laborexperimente und In-situ-Messungen ermittelt. Die Modellrechnungen zeigen eine angemessene Übereinstimmung mit am Standort gemessenen Grundwasserdaten.

Als Ergebnis der Modellrechnungen zur Grundwasserbewegung sind die Fließgeschwindigkeit und Fließrichtung im Hutgestein und die Auswirkungen einer Auspressung von Lösung aus den Grubengebäuden durch das Hutgestein von Bedeutung. Vertikale nach oben gerichtete Flüsse durch das Hutgestein resultieren nur aus dem Auspressen von Lösungen aus den Gruben. erfolgen vorwiegend entlang einer in das Hutgestein eingelagerten Struktur mit etwas erhöhter Durchlässigkeit (hier als Schichtenfolge DGL bezeichnet). Darüber hinaus ist der Grundwasserstrom im Aquifer (Grundwasserleiter) des Allertals im Hinblick auf die Verdünnung der freigesetzten Radionuklide von Bedeutung. Die berechnete Grundwasserströmung im Allertal ist überwiegend quer zum Talverlauf ausgerichtet, so dass das Wasser aus dem Hutgestein beim Eintritt in die grundwasserleitenden Gesteine der Oberkreide eine merkliche Verdünnung erfährt.

Für die Charakterisierung der Schichtenfolge DGL – deren Eigenschaften der Wegsamkeit durch das Hutgestein und Deckgebirge zugewiesen werden - wurden In-situ-Messungen in Bohrlöchern durchgeführt und die entsprechenden Abschnitte der Bohrkerns ausgewertet. Hieraus ließen sich die

Mächtigkeit und die hydraulischen Parameter ermitteln. Die Sorptionseigenschaften wurden auf der Basis von Laboruntersuchungen und Angaben in der Literatur abgeleitet. Hinsichtlich der Verbreitung der Schichtenfolge DGL wurde auf Ergebnisse der Standorterkundung zurückgegriffen.

Bei der Festlegung von Modellannahmen und Eingangsdaten werden unzureichende Kenntnisse entweder über konservative Annahmen berücksichtigt oder fließen in die Streubreiten von Parametern ein und werden so entsprechend berücksichtigt.

Berücksichtigte Effekte und deren Modellierung

Die nachfolgenden Ausführungen betreffen in erster Linie die Ausbreitung der Radionuklide über den Wasserpfad für Szenarien mit relevantem Lösungszutritt. Einzelne Effekte, z. B. die Konvergenz und die Gasproduktion, sind auch für andere Fälle, wie etwa für den Druckaufbau bei Szenarien mit „trockener Grube“ von Bedeutung. Die wesentlichen Elemente eines Modells des Endlagers im Hinblick auf die Ausbreitung über den Wasserpfad sind

- die abgedichteten Einlagerungsbereiche,
- die Abdichtungen,
- die nicht abgedichteten Einlagerungsbereiche,
- die übrige Grube,
- die Wegsamkeit durch Hutgestein und Deckgebirge sowie
- das oberflächennahe, potenziell genutzte Grundwasser.

Die Anordnung dieser Elemente unter Berücksichtigung nur eines abgedichteten und eines nicht abgedichteten Einlagerungsbereiches ist in der nebenstehenden Abbildung schematisch dargestellt. Hierbei ist die Restgrube in einen Mischungsbereich und eine sonstige Restgrube unterteilt.

Für die Modellrechnung wird als ungünstigste Annahme von einem Volllaufen mit Süßwasser und einer Aufsättigung der Lösung am Steinsalz und an den Kalilagern ausgegangen. Die Umlöseprozesse in der Restgrube werden bezüglich der Vergrößerung der dortigen Hohlräume berücksichtigt.

Die in die Restgrube zutretenden Wässer haben wegen des hohen Strömungswiderstands der Abdichtungen genügend Zeit, sich an Salzen aufzusättigen, bevor sie in die abgedichteten Einlagerungsbereiche eindringen. Daher treten entsprechende Lösevorgänge in den abgedichteten Einlagerungsbereichen nicht auf. Durch die Lösevorgänge in der Restgrube können keine Wegsamkeiten parallel zu den Abdichtungen entstehen, so dass Lösevorgänge keinen schnellen Lösungszutritt in die abgedichteten Einlagerungsbereiche zur Folge haben können.

Aus der vollgelaufenen Restgrube sickert die Lösung über die Abdichtungen in die abgedichteten Einlagerungsbereiche. Ein Zutritt über das intakte Salzgestein findet wegen dessen geringer Permeabilität nicht statt. Der Zutritt in die abgedichteten Einlagerungsbereiche wird durch den dortigen Gasdruck behindert. Bei Abdichtungen aus Salzbeton wird dieser aufgrund des Eindringens von magnesiumhaltiger Lösung aus der Restgrube angegriffen, so dass die Permeabilität der Abdichtungen mit fortschreitendem Zutritt von Lösung ansteigt. Bei der Abdichtung aus Magnesiabeton auf der 4. Sohle des Ostfeldes wird der Magnesiabeton nur von Lösungen angegriffen, deren Magnesiumgehalt sehr gering ist. Für das Ostfeld ist auch eine Wegsamkeit über den Hauptanhydrit als mögliche parallele Wegsamkeit zu den Abdichtungen zu betrachten.

Für die abgedichteten Einlagerungsbereiche wird der ansteigende Flüssigkeitsspiegel als Folge des Zutritts der Lösung ermittelt. Dieser führt aufgrund der Kompression der Grubenluft zu einem Druckanstieg, der den weiteren Zufluss behindert. Darüber hinaus führen die Gasproduktion und die Konvergenz des Gebirges zu einem weiteren Druckanstieg. Für die Gase wird unter bestimmten Bedingungen von einem Entweichen aus dem Einlagerungsbereich ausgegangen.



Abb. 10-1: Konzeptionelles Modell des Endlagersystems für die Ausbreitung über den Wasserpfad.

Bei Einstellung eines Druckgleichgewichts zwischen Restgrube und Einlagerungsbereich ist die Zutrittsphase beendet, und die Auspressphase beginnt. Bezüglich der Gasproduktion wird von der Korrosion der Metalle und einer Zersetzung der organischen Stoffe ausgegangen. Bei der Konvergenz werden die Stützwirkung des Versatzes und die Stützwirkung durch den Fluiddruck berücksichtigt.

Die in den Einlagerungsbereichen vorhandene Lösung wird durch den Kontakt mit den Abfällen kontaminiert. Für die mit der Flüssigkeit in Kontakt gekommenen Abfälle wird von einer unmittelbaren Mobilisierung der Radionuklide ausgegangen.

Eine Rückhaltung im Einlagerungsbereich wird nur für Kohlenstoff als Folge der Carbonatisierung berücksichtigt. Weitere mögliche Rückhalte-mechanismen werden in den Einlagerungsbereichen vernachlässigt, da die chemischen Verhältnisse im Nahbereich der Abfälle nicht ausreichend genau vorhergesagt werden können. Innerhalb der Hohlräume der Einlagerungsbereiche wird von homogenen Radionuklidkonzentrationen ausgegangen.

Die kontaminierte Lösung in den Einlagerungsbereichen wird durch die Konvergenz und teilweise durch die noch vorhandene Gasproduktion in die Restgrube ausgepresst. Hierbei kommt die kontaminierte Lösung mit unkontaminierter Lösung aus anderen Grubenbereichen in Kontakt und wird dementsprechend verdünnt. Die erforderliche Zeit für den Transport der kontaminierten Lösung durch die Restgrube führt zu einer weiteren Verzögerung der Freisetzung aus den Gruben. Der in die Gruben eingebrachte Versatz enthält sorptionsfähige Bestandteile, die zu einer zusätzlichen Verzögerung führen. Beide Prozesse werden in den Konsequenzanalysen als konservative Annahme vernachlässigt. Durch den Austritt der Lösung aus den abgedichteten Einlagerungsbereichen in die Restgrube sowie durch die Konvergenz der Grubenbaue in der Restgrube wird kontaminierte Lösung schließlich aus den Gruben in das Hutgestein ausgepresst.

Die Modellrechnungen zur Grundwasserbewegung zeigen, dass im Hutgestein ein nach oben gerichteter Transport nur aufgrund eines Auspressens von Lösung aus den Grubengebäuden stattfinden kann. Aufgrund der begrenzten Ausdehnung der Schollen der Schichtenfolge DGL wird diese als eindimensionale Stromröhre betrachtet. Als Transportpfad vom Salzspiegel durch Hutgestein und Deckgebirge wird ein relativ kurzer Weg von 220 m Länge und begrenzter flächenhafter Ausdehnung zugrunde gelegt, der mit den Eigenschaften der Schichtenfolge DGL charakterisiert und als eindimensionale Stromröhre betrachtet wird. Durch Sorption an Tonbestandteilen können Radionuklide zurückgehalten werden. Beim anschließenden Eintritt in den Grundwasserstrom des oberflächennahen Aquifers findet eine Verdünnung statt.

Aus den sich im Grundwasserleiter einstellenden Radionuklidkonzentrationen wird die Strahlenexposition ermittelt, wobei die heutigen Lebens- und Verzehrgewohnheiten von Referenzpersonen und die Aufnahme der Radionuklide über verschiedene Expositionspfade unter Verwendung von Sicherheitszuschlägen berücksichtigt werden.

Die beschriebenen Abläufe werden durch die beiden Rechenprogramme EMOS und PROSA nachgebildet. Hierbei werden jeweils die wesentlichen Effekte berücksichtigt, wobei es bei der konzeptuellen und numerischen Umsetzung Unterschiede in den Rechenprogrammen gibt. Durch die parallele Vorgehensweise wird das Vertrauen in die Aussagekraft der erzielten Ergebnisse erhöht.

Die Abb. 10-2 zeigt den berechneten zeitlichen Verlauf der Strahlenexpositionen mit den Programmen EMOS und PROSA für den Referenzfall des Szenarios mit relevantem Lösungszutritt in die Grubengebäude. Bei den berechneten Strahlenexpositionen (effektive Dosis eines Erwachsenen) erkennt man in beiden Berechnungen ein erstes relatives Maximum, das aus der Freisetzung aus den nicht abgedichteten Einlagerungsbereichen, insbesondere dem Nordfeld resultiert. Dieses frühe Maximum der Strahlenexposition liegt nach EMOS bei $2,5 \cdot 10^{-7}$ Sv/a und tritt nach 7.800 Jahren, also bereits 300 Jahre nach dem Volllaufen der Restgrube auf. Das entsprechende Maximum liegt nach PROSA bei $3 \cdot 10^{-7}$ Sv/a und tritt nach 9.000 Jahren auf. Die Zeitdifferenz ist durch die unterschiedlichen Annahmen zur Gasbildung zu erklären.

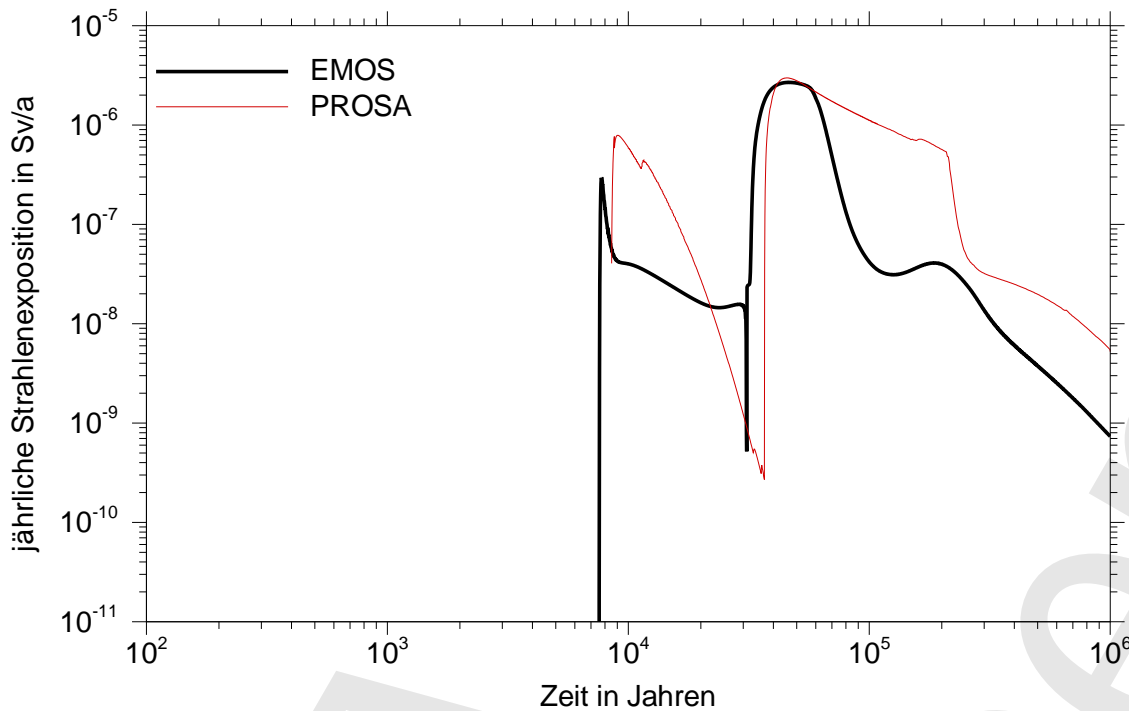


Abb. 10-2: Zeitlicher Verlauf der Strahlenexposition nach EMOS und PROSA.

Die Unterschiede zwischen den Ergebnissen beider Programme lassen sich mit unterschiedlichen Modellierungen einzelner Randbedingungen und Effekte erklären.

Die berechneten Strahlenexpositionen zeigen in beiden Fällen auch einen späten Beitrag, der aus der Freisetzung von Radionukliden aus dem West-Südfeld herrührt. Das späte Maximum der Strahlenexposition liegt nach EMOS bei $2,7 \cdot 10^{-6}$ Sv/a und tritt nach 46.000 Jahren auf. Das entsprechende Maximum liegt nach PROSA bei $3 \cdot 10^{-6}$ Sv/a und tritt nach 45.000 Jahren auf. Die Unterschiede zwischen den Ergebnissen beider Programme lassen sich mit unterschiedlichen Modellierungen einzelner Randbedingungen und Effekte erklären.

Zur Untersuchung der Einflüsse einzelner Parameter und Modellannahmen wurde eine Vielzahl von Varianten betrachtet. Die Variationen einzelner Parameter führen zu Änderungen der maximalen jährlichen Strahlenexposition, die im Allgemeinen nur etwa eine Größenordnung (Faktor 10) nach oben und unten betragen.

Die Ergebnisse der deterministischen Modellrechnungen liegen um mehr als zwei Größenordnungen unter dem Schutzziel von 0,3 mSv/a. Auch die Ergebnisse der probabilistischen Berechnungen bestätigen die sichere Einhaltung des Schutzziels von 0,3 mSv/a.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass das Schutzziel sicher eingehalten wird und damit die erforderliche Schadensvorsorge nach dem Stand von Wissenschaft und Technik gegeben ist. Der Nachweis der Langzeitsicherheit wurde parallel und unabhängig mit zwei unterschiedlichen Modellkonzepten und Programmen durchgeführt. Die Ergebnisse der Modellrechnungen stimmen in ihren wesentlichen Resultaten und Aussagen überein. Das belegt insbesondere die Robustheit des Gesamtsystems und der Stilllegungsmaßnahmen.

11 ERGÄNZENDE SICHERHEITSBETRACHTUNGEN

Die Langzeitsicherheit eines Endlagers wird in erster Linie über die Konsequenzanalysen für die relevanten Szenarien entsprechend der Erläuterungen des vorangegangenen Kapitels gezeigt. Hierbei werden die Konsequenzen der Szenarien als potenzielle Strahlenexpositionen für zukünftig lebende Individuen mit einem Schutzziel verglichen.

Darüber hinaus wird der Nachweis der Langzeitsicherheit durch zusätzliche Argumente ergänzt und somit auf eine breite Basis gestellt. Diesbezüglich wird der zeitliche Verlauf der Aktivitäten im Endlager und die integrierte Freisetzung aus Teilbereichen des Endlagers dargestellt sowie das Gefährdungspotenzial der eingelagerten Abfälle im Hinblick auf zukünftige menschliche Einwirkungen bewertet.

11.1 AKTIVITÄTSINVENTAR IM ENDLAGER

Die Aktivität der im ERAM eingelagerten Abfälle nimmt gemäß der physikalischen Halbwertszeiten mit der Zeit ab. Die zeitliche Entwicklung der Aktivität der Radionuklide mit dem höchsten Beitrag zum Aktivitätsinventar in den Abfällen im ERAM ist in Abb. 11-1 dargestellt.

Die zu Beginn der Betrachtung am stärksten zum Aktivitätsinventar beitragenden Alpha-/Beta-strahlenden Radionuklide Co-60, Cs-137 und Sr-90 sind bereits nach ca. 1.000 Jahren vollständig abgeklungen. Die Aktivität des Radionuklids C-14 wird nach ca. 80.000 Jahren so weit abgeklungen sein, dass hierdurch kein Beitrag mehr zur potenziellen Strahlenexposition zukünftig lebender Individuen geliefert wird. Die Radionuklide mit demgegenüber längerer Halbwertszeit wie Ni-59, Zr-93 und Tc-99 sind in deutlich geringerer Aktivität im ERAM eingelagert.

Die Aktivität der Alpha-strahlenden Radionuklide Am-241 und Ra-226 wird nach ca. 5.000 bzw. 25.000 Jahren abgeklungen sein. Die längerlebigen Radionuklide U-238 und Pu-239 sind im Inventar des ERAM nur in vergleichsweise geringer Aktivität vorhanden. Np-237 wird im Verlauf einiger tausend Jahre durch Zerfall von Am-241 aufgebaut und geht dann aufgrund seiner langen Halbwertszeit von 2,1 Mio. Jahren nur langsam wieder zurück.

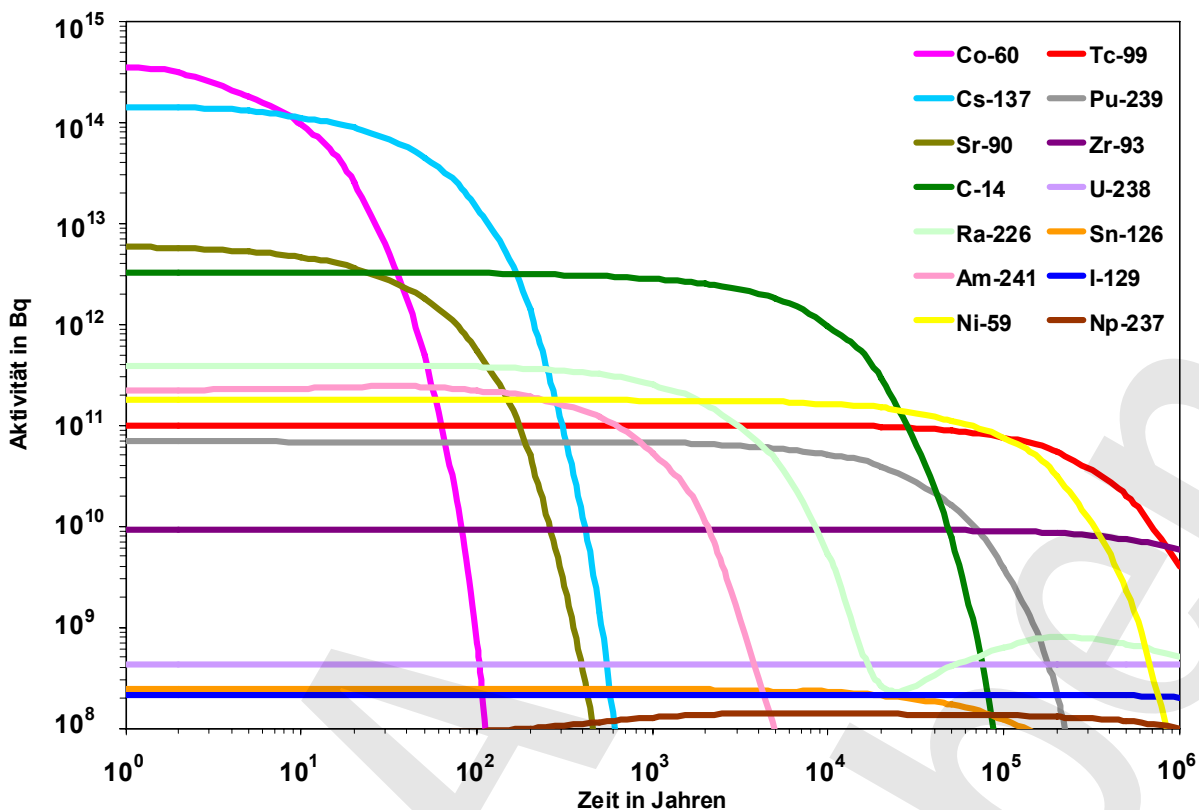


Abb. 11-1: Zeitliche Entwicklung des Aktivitätsinventars in den Abfällen.

11.2 INTEGRIERTE FREISETZUNG AUS TEILBEREICHEN DES ENDLAGERS

Ein Indikator für die Wirksamkeit von Barrieren ist der über die Zeit integrierte Radiotoxizitätsstrom aus einem Teilbereich des Endlagersystems in den nächstfolgenden Teilbereich.

Die Berechnungen für den Referenzfall des Szenarios mit relevantem Lösungszutritt ergeben, dass aus keinem der Grubenteile mehr als 0,03 % des ursprünglich vorhandenen Inventars entweichen. Dieser höchste Wert wird im Nordfeld erreicht, von wo ein erheblicher Teil des zum Zutrittszeitpunkt noch vorhandenen Inventars durch Gasspeicherung freigesetzt wird. Da dieses jedoch vornehmlich aus kurzlebigen Radionukliden besteht, ist die Radiotoxizität bereits stark abgeklungen. Die relative Freisetzung aus dem Zentralteil, wo ebenfalls vornehmlich kurzlebige Radionuklide eingelagert sind, aber wesentlich mehr Gasspeichervolumen zur Verfügung steht, bleibt bei unter 10^{-6} . Die integrierte Freisetzung aus dem West-Südfeld erreicht nach Abschluss der gasbedingten Auspressphase einen Wert von 10^{-4} , der danach nur noch ganz geringfügig ansteigt. Dieses Verhalten prägt sich auf die Freisetzungskurven der Gruben und des Gesamtsystems durch. Aus dem gesamten Endlagersystem wird bis zum Ende des Szenarios weniger als 1/100.000 der anfänglich vorhandenen Radiotoxizität freigesetzt.

11.3 GEFÄHRDUNGSPOTENZIALE AUFGRUND MENSCHLICHER EINWIRKUNGEN

Durch menschliche Aktivitäten wie Erkundungs- oder Bergbautätigkeiten können das Endlager und seine geologischen Barrieren in der Zukunft beeinträchtigt werden. Es wurden drei Fälle für die zukünftigen menschlichen Einwirkungen in Betracht gezogen:

- dem Eindringen mittels einer Bohrung in einen Einlagerungsbereich,
- dem Solen einer Kaverne und
- der Errichtung eines neuen Bergwerkes.

Das Abteufen einer Erkundungsbohrung ist zur Erkundung der Salzvorräte oder bei der Suche nach Erdöl oder Erdgas denkbar, wobei nicht auszuschließen ist, dass mit einer Erkundungsbohrung einer der Einlagerungsbereiche getroffen wird. Die Bohrung würde spätestens ab einer Bohrtiefe von 100 m mit Spülung gebohrt, wobei der hydrostatische Druck der Bohrspülung immer über dem lokalen hydrostatischen Druck in der entsprechenden Bohrtiefe liegt. Wenn die Bohrung auf einen Einlagerungsbereich trifft, macht sich dies durch einen Spülungsverlust bemerkbar. Für den Fall, dass der Ursache für den Spülungsverlust nachgegangen wird, würde das Endlager entdeckt, die Bohrung aufgegeben und verfüllt. Im anderen Fall würde die Bohrung mit Hilfe technischer Maßnahmen bis zur Zielteufe fortgeführt werden. Da aufgrund der fehlenden Ressourcen im Bereich der Salzstruktur Allertal über die Erkundung hinaus mit keiner Nutzung der Bohrung zu rechnen ist, würde diese letztendlich aufgegeben und verfüllt.

Die verwendete Bohrspülung und das geförderte Bohrklein müssten aufgrund des hohen Salzgehaltes auf einer Deponie oder Salzhalde entsorgt werden. In den Materialien enthaltene Radionuklide würden mit dem Regenwasser nur sehr stark verdünnt in das Grundwasser gelangen. Die daraus resultierende Freisetzung ist vernachlässigbar.

Der Zufluss von Lösung durch die verfüllte Erkundungsbohrung wird durch die Permeabilität der Verfüllung begrenzt. Einfache Modellrechnungen haben ergeben, dass selbst bei einer technisch geringwertigen Verfüllung mit einer Permeabilität von 10^{-15} m^2 der Zufluss sehr gering ist und keiner der Einlagerungsbereiche dadurch innerhalb einer Million Jahre vollläuft. Es kann somit auch zu keiner Freisetzung von Radionukliden über die Erkundungsbohrung kommen.

Aufgrund der gegenüber anderen Salzstrukturen in Norddeutschland ungünstigen geologischen Verhältnisse können die Errichtung eines neuen Bergwerks oder einer Kaverne am Standort Morsleben ausgeschlossen werden. Die ungünstigen Bedingungen bestehen hauptsächlich in der starken Verfaltung und Heterogenität der Salzstruktur Allertal mit häufigen Wechsellagerungen von Kali- und Steinsalz.

Wenn auch die Annahmen über zukünftige menschliche Aktivitäten letztendlich spekulativ sind, so kann doch unter Berücksichtigung der geringen Wahrscheinlichkeit des Eintretens und der potenziellen Auswirkungen eine unzulässige Gefährdung zukünftiger Generationen durch menschliche Einwirkungen auf das Endlager Morsleben ausgeschlossen werden.

11.4 GEFÄHRDUNGSPOTENZIAL CHEMISCHER SCHADSTOFFE

Im Hinblick auf die wasserrechtlichen Bestimmungen des Wasserhaushaltsgesetzes und des Wassergesetzes für das Land Sachsen-Anhalt ist der Nachweis zu führen, dass durch chemische Schadstoffe keine schädliche Verunreinigung des Grundwassers oder eine sonstige nachteilige Veränderung seiner Eigenschaften zu besorgen ist. Als chemische Schadstoffe sind entsprechende nichtradioaktive Bestandteile der Abfallgebinde, der Braunkohlenfilterasche und der Baumaterialien für das Verfüllen und Verschließen zu betrachten.

Die Prüfung und Bewertung einer möglichen Verschmutzung des Grundwassers durch organische und anorganische Schadstoffe ist mit Hilfe von Modellbetrachtungen durchgeführt worden. Hierbei wurden die chemischen Schadstoffe aller zu betrachtenden Materialien gemeinsam behandelt.

Die durchgeführten Modellbetrachtungen lehnen sich an die Modellrechnungen zur radiologischen Langzeitsicherheit an und stehen im Einklang mit dort getroffenen Randbedingungen und Annahmen. Dies gilt insbesondere für den Verdünnungsfaktor, der aus den Modellrechnungen zur Langzeitsicherheit für ein stabiles Isotop aus der Maximalkonzentration im oberflächennahen Grundwasser im Verhältnis zur Maximalkonzentration im Einlagerungsbereich ermittelt wurde. Eine Rückhaltung der Schadstoffe durch Sorption in den Grubengebäuden und in der Geosphäre wurde hierbei vernachlässigt.

Für die sich einstellenden Konzentrationen im Einlagerungsbereich wird eine Auflösung der Abfallgebinde und der Braunkohlenfilterasche unterstellt, entsprechende Löslichkeitsgrenzen werden berücksichtigt. Für das Verfüllmaterial wird bei der Festlegung von maximalen Konzentrationen auf experimentell bestimmte Eluatwerte zurückgegriffen.

Aus den Konzentrationen der organischen und anorganischen Schadstoffe im Einlagerungsbereich und dem Verdünnungsfaktor werden die sich einstellenden Konzentrationen im oberflächennahen Grundwasser ermittelt und mit Grenzwerten für Konzentrationen chemischer Elemente sowie organischer und anorganischer Verbindungen aus wasserrechtlichen Regelwerken (Trinkwasserverordnung, Berliner Liste 2005, Empfehlungen der LAWA und des DVGW) verglichen.

Das Ergebnis der durchgeführten Betrachtungen ist in der nachstehenden Tabelle zusammengefasst. Danach ist festzustellen, dass die Begrenzungen durch die modellmäßig berechneten Konzentrationen je nach Schadstoff um etwa ein bis drei Größenordnungen (Faktor 10 bis 1.000) unterschritten werden. Mit dieser Unterschreitung ist die Besorgnis einer schädlichen Verunreinigung des oberflächennahen Grundwassers oder einer sonstigen nachteiligen Veränderung seiner Eigenschaften nicht gegeben.

Tab. 11-1: Vergleich von Schadstoffkonzentrationen.

Schadstoff	Berechnete Konzentration in mg/l	Begrenzung in mg/l
Chlorid	12,7	$1,0 \cdot 10^2$
Sulfat	$5,13 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^2$
Cyanide	$2,54 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$
Phenolindex	$2,54 \cdot 10^{-6}$	$8,0 \cdot 10^{-3}$
Arsen	$8,82 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$
Blei	$1,20 \cdot 10^{-4}$	$7,0 \cdot 10^{-3}$
Cadmium	$1,30 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$
Chrom (VI)	$7,34 \cdot 10^{-5}$	$6,0 \cdot 10^{-3}$
Chrom (gesamt)	$7,36 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-2}$
Kupfer	$1,02 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$
Nickel	$6,10 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$
Quecksilber	$2,80 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$
Thallium	$7,61 \cdot 10^{-6}$	$8,0 \cdot 10^{-4}$
Zink	$4,98 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-2}$
TOC	$5,34 \cdot 10^{-2}$	—
Fluorid	$5,08 \cdot 10^{-3}$	$7,5 \cdot 10^{-1}$
Ammonium-N	$7,61 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-1}$
AOX	$5,03 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-2}$

12 ABSCHLIEßENDE BEURTEILUNG

Mit den aufgezeigten Stilllegungsmaßnahmen wird das Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben nach Beendigung der Betriebsphase sicher gegen die Biosphäre abgeschlossen. Dazu werden im Stilllegungsbetrieb Einlagerungsbereiche abgedichtet, Grubenbaue mit Versatzmaterial verfüllt und damit geomechanisch stabilisiert sowie die Schächte Bartensleben und Marie verfüllt und abgedichtet. Die aufgezeigten Maßnahmen können nach bestehendem Stand der Technik so realisiert werden, dass keine Gefährdungen von Mensch und Umwelt zu erwarten sind.

Für die Umrüstungs- und Betriebsphase der Stilllegung sind die Auswirkungen auf alle betroffenen Schutzgüter insgesamt als gering zu bewerten.

Die Langzeitsicherheitsanalysen zeigen, dass nach Umsetzung der aufgezeigten Stilllegungsmaßnahmen keine unzulässigen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt durch Freisetzung von Radionukliden oder chemischen Schadstoffen sowie durch Senkungen an der Tagesoberfläche zu besorgen sind.

Im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens wurden technische Verfahrensalternativen zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) geprüft und bewertet, woraus sich die dargestellte technische Lösung ergab.

13 ERLÄUTERUNG DER VERWENDETEN ABKÜRZUNGEN UND FACHBEGRIFFE

Abkürzungen:

Abb.	Abbildung
AOX	Adsorbierbare organische Halogenverbindungen
AtG	Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz)
AtVfV	Atomrechtliche Verfahrensverordnung
B	Bundesstraße
BAB	Bundesautobahn
BauGB	Baugesetzbuch
BauO LSA	Gesetz über die Bauordnung des Landes Sachsen-Anhalt
BBergG	Bundesberggesetz
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
bGZ	Maßnahme zur bergbaulichen Gefahrenabwehr Zentralteil
BNatSchG	Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz)
Bq	Becquerel
DBE	Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH
DBG	Dauerbetriebsgenehmigung
DDR	Deutsche Demokratische Republik
DGL	Deckanhydrit, Grauer Salzton, Leine-Karbonat
E	Himmelsrichtung Ost
ERAM	Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben
GOK	Geländeoberkante
KTA	Kerntechnischer Ausschuss
L	Landstraße
LAWA	Bund / Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
Mio.	Million
MSK	Einheit der Intensität eines Erdbebens nach Medvedev, Sponheuer und Karnik
N	Himmelsrichtung Nord
NE	Himmelsrichtung Nord-Ost

NN	Normalnull (Meereshöhe)
NNE	Himmelsrichtung Nord-Nord-Ost
NW	Himmelsrichtung Nord-West
PFB	Planfeststellungsbeschluss
S	Himmelsrichtung Süd
SAAS	Staatliches Amt für Atomsicherheit und Strahlenschutz
SE	Himmelsrichtung Süd-Ost
SprengG	Gesetz über explosionsgefährliche Stoffe (Sprengstoffgesetz)
SSW	Himmelsrichtung Süd-Süd-West
StrISchV	Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung)
Sv	Sievert (Äquivalentdosis)
SW	Himmelsrichtung Süd-West
T	Tritium
Tab.	Tabelle
TA Lärm	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm
TA Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
TOC	Gesamter organisch gebundener Kohlenstoff (Total organic carbon)
UMF	Untertage-Messfeld
UVS	Umweltverträglichkeitsstudie
W	Himmelsrichtung West
WG LSA	Wassergesetz für das Land Sachsen-Anhalt
WHG	Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts
WSW	Himmelsrichtung West-Süd-West

Nuklide:

Am-241	Americium-241	Po-210	Polonium-210
C-14	Kohlenstoff-14	Pu-239	Plutonium-239
Co-60	Cobalt-60	Ra-226	Radium-226
Cs-137	Cäsium-137	Rn-222	Radon-222
H-3	Wasserstoff-3 (Tritium)	Sr-90	Strontium-90

K-40	Kalium-40	Tc-99	Technetium-99
Ni-59	Nickel-59	U-238	Uran-238
Pb-210	Blei-210	Zr-93	Zirconium-93

Fachbegriffe:

Abfall, radioaktiver:	Radioaktive Stoffe im Sinne des § 2 Abs. 1 des Atomgesetzes, die nach § 9a des Atomgesetzes geordnet beseitigt werden müssen.
Abfall, betrieblicher radioaktiver:	Radioaktive Abfälle, die während des Stilllegungsbetriebes anfallen oder bereits vor Beginn des Stilllegungsbetriebes angefallen sind.
Abfallgebinde:	Endzulagernde Einheit aus Abfallprodukt und Abfallbehälter.
Abfallprodukt:	Verarbeiteter radioaktiver Abfall ohne Verpackung oder unverarbeiteter radioaktiver Abfall in einem Behälter verpackt.
Abwetter:	Wetterstrom hinter einem untertägigen Betriebspunkt bis zur Abgabe in die Umgebung an der Tagesoberfläche.
Aktivität:	Anzahl der in einem Zeitintervall auftretenden Kernumwandlungen eines Radionuklids oder Radionuklidgemisches dividiert durch die Länge des Zeitintervalls. Maßeinheit: $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$
Aktivität, spezifische:	Aktivität bezogen auf die Masseneinheit.
Aktivitätskonzentration:	Aktivität bezogen auf die Volumeneinheit.
Altversatz:	Bereits vor der Stilllegung eingebrachter Versatz.
Anlage, kerntechnische:	U. a. Anlagen im Sinne der §§ 7 und 9a Abs. 3 Satz 1 Halbsatz 2 des Atomgesetzes (hier Endlager für radioaktive Abfälle)
Barrieren:	Geologische Gegebenheiten oder technische bzw. geotechnische Maßnahmen zur Behinderung oder Verhinderung der Freisetzung von Schadstoffen aus den Abfällen in die Biosphäre.
Barrieren, geologische:	Geologische Gegebenheiten zur Verhinderung von unzulässigen Freisetzungen von radioaktiven Stoffen (z. B. Wirtsgestein, Nebengestein, Deckgebirge).
Barrieren, technische:	Technische Maßnahmen zur Verhinderung unzulässiger Freisetzungen von radioaktiven Stoffen.

Betrieb, bestimmungsgemäßer:	Betriebsvorgänge, für die die Anlage bei funktionsfähigem Zustand der Systeme (ungestörter Zustand) bestimmt und geeignet ist (Normalbetrieb); auch Betriebsvorgänge, die bei Fehlfunktion von Anlagenteilen oder Systemen (gestörter Zustand) ablaufen, soweit hierbei einer Fortführung des Betriebs sicherheitstechnische Gründe nicht entgegenstehen (anomaler Betrieb); Instandhaltungsvorgänge (Inspektion, Wartung, Instandsetzung)
Bewetterung:	Planmäßige Versorgung der Grubenbaue mit frischer Luft.
Deckgebirge:	Die Lagerstätte überdeckende Gesteinsschichten.
Dosis:	Strahlenenergie, die bei der Wechselwirkung einer ionisierenden Strahlung mit Materie an diese abgegeben wird. Die verschiedenen Strahlungsarten unterscheiden sich durch ihre biologische Wirksamkeit. Um dieser verschiedenen Wirksamkeit Rechnung zu tragen, multipliziert man die Energiedosis mit einem Strahlungswichtungsfaktor und erhält so ein neues Maß für die Dosis, die man als Äquivalentdosis (Röntgenäquivalent) für den Menschen bezeichnet. Maßeinheit: 1 Sv = 1 J/kg.
Dosis, effektive:	Kurzbezeichnung für effektive Äquivalentdosis. Summe der nach Anlage VI der StrlSchV gewichteten mittleren Äquivalentdosen in den einzelnen Organen und Geweben (Organdosen).
Dosisleistung:	Quotient aus der Dosis und der Zeit. (Maßeinheit: Sv/h).
Einlagerungsbereich:	Begrenzter Bereich im Grubengebäude, in dem mehrere Einlagerungsgrubenbaue liegen, die für die Einlagerung radioaktiver Abfälle genutzt sind.
Einlagerungsgrubenbau:	Planmäßig bergmännisch hergestellter Hohlraum in dem radioaktive Abfälle endgelagert sind.
Endlagerung:	Wartungsfreie, zeitlich unbefristete und sichere Beseitigung von radioaktivem Abfall ohne beabsichtigte Rückholbarkeit.
Feld:	Allgemein gebräuchlicher Begriff zur betrieblichen Orientierung innerhalb eines Grubengebäudes.
Firste:	Obere Grenzfläche eines Grubenbaus.
Geosphäre:	Raum parallel zur Erdoberfläche, in dem sich die Gesteinskruste (Lithosphäre) sowie die Wasser-(Hydrosphäre) und Lufthülle (Atmosphäre) berühren und gegenseitig durchdringen.
Grubenbau:	Planmäßig bergmännisch hergestellter Hohlraum unter Tage.
Grubenfeld:	Siehe Feld.
Grubengebäude:	Gesamtheit aller bergmännisch hergestellten Grubenbaue eines Bergwerks.
Grubenwasser:	Dem Grubengebäude zutretende Wässer unterschiedlicher Herkunft.

Grundwasserneubildung:	Zugang von in den Boden infiltriertem Wasser zum Grundwasser (Niederschlagsmenge abzüglich Abfluss und Verdunstung).
Halbwertszeit:	Zeit, in dem die Aktivität eines Radionuklids auf die Hälfte abgefallen ist.
Konditionierung:	Herstellung von Abfallgebinden durch Verarbeitung bzw. Verpackung von radioaktivem Abfall.
Konglomerat:	Verfestigtes, grobkörniges Sedimentgestein, aus abgerundeten Gesteinstrümmern entstanden.
Kontrollbereich:	Bereiche, in denen Personen im Kalenderjahr eine effektive Dosis von mehr als 6 mSv oder höhere Organdosen als 45 mSv für die Augenlinse oder 150 mSv für die Haut, die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel erhalten können.
Konvergenz:	Natürlicher Prozess der Volumenreduzierung von untertägigen Hohlräumen infolge Verformung bzw. Auflockerung aufgrund des Gebirgsdrucks.
Kritikalität:	Ein Spaltstoffsystem ist kritisch, wenn die Zahl der durch Spaltung erzeugten Neutronen gleich oder größer ist als die Zahl der durch Kernreaktionen absorbierten Neutronen und das System damit den Zustand einer sich selbst unterhaltenden Kettenreaktion erreicht. Die Kenngröße für die Kritikalität ist der infinite Multiplikationsfaktor k_{inf} . Ein Spaltstoffsystem ist unterkritisch, wenn $k_{inf} < 1$ ist.
Lagerstätte:	Anreicherungszone von abbauwürdigen Rohstoffen im Bereich der Erdkruste.
Lagerung:	Räumliche Anordnung von Gesteinskörpern.
Liegendes:	Das eine Bezugsschicht unterlagernde Gestein.
Mischungsbereich:	Grubenbaue in der Restgrube, in denen sich Lösungsströme vermischen, bevor sie aus der Salzformation austreten.
Nebengebirge:	Gesteinsschichten, die sich seitlich außerhalb der Salzstruktur befinden (Gesteinsschichten oberhalb der Salzstruktur: Deckgebirge).
Normalnull (NN):	Höhenbezugsfläche in einem Höhen Bezugssystem dessen Niveau vom Nullpunkt des ehemaligen Pegels Amsterdam hergeleitet ist.
Nuklid:	Atome bestehen aus Kern und Hülle; die Bestandteile des Kernes – Neutronen und Protonen – werden als Nukleonen bezeichnet; Kerne mit unterschiedlicher Anzahl von Protonen und Neutronen ergeben die Atomarten, die als Nuklide bezeichnet werden.
Ortsdosis:	Äquivalentdosis für Weichteilgewebe, gemessen an einem bestimmten Ort.

Permeabilität:	Durchlässigkeit eines Gesteins für Flüssigkeiten und Gase, abhängig von der Querschnittsgröße und -form der einzelnen Fließkanäle, deren räumlichem Verlauf und ihrer gegenseitigen Verknüpfung.
potenziell lösungs- zutrittsgefährdete Grubenbaue:	Grubenbaue, deren verbleibende intakte Salzschieht zu lösungsführenden Strukturen im Hutgestein oder zum grundwasserführenden Nebengebirge nicht ausreicht, einen durch fortschreitende Auflockerung oder Salzlösung entstehenden Zufluss von Grundwasser auszuschließen. Auch Grubenbaue mit einem unzureichenden Abstand von potenziell lösungsführenden Gesteinsschichten innerhalb der Salzstruktur, die das grundwasserführende Deckgebirge erreichen, gelten als potenziell zutrittsgefährdet.
Querschlag:	Etwa rechtwinklig zum Streichen der Lagerstätte aufgefahrene Strecke.
Radioaktivität:	Vorgang des spontanen, ohne äußere Einwirkung stattfindenden Zerfalls von Atomkernen, sogenannten Radionukliden. Radionuklide wandeln sich in andere Nuklide um, wobei eine charakteristische Alpha-, Beta- oder Gamma-Strahlung ausgesendet wird. Es gibt sowohl in der Natur vorkommende natürliche Radionuklide als auch durch kernphysikalische Prozesse erzeugte Radionuklide.
Radiolyse:	Veränderung in einem chemischen System durch die Einwirkung ionisierender Strahlung.
Radionuklid:	Instabiles Nuklid, das spontan ohne äußere Einwirkung unter Strahlungsemission zerfällt.
Radionuklidinventar:	Radionuklide und entsprechende Aktivitäten, die z. B. in einem Abfallgebäude oder in einem Einlagerungsgrubenbau enthalten sind.
Restgrube:	Gesamtes Grubengebäude ohne abgedichtete Bereiche.
Restgrube, sonstige:	Restgrube ohne Mischungsbereich.
Reststoff:	Beim Umgang mit radioaktiven Stoffen anfallender, verwertbarer oder nicht verwertbarer Abfall.
Salinare Lösungen:	Wässrige Lösungen mit unterschiedlicher Salzkonzentration.
Salzgebirge:	Das Salzgebirge besteht aus Salzgestein, Anhydrit und Salztonen.
Salzspiegel:	Obere Grenzfläche von Salzstrukturen, etwa parallel zum Grundwasserspiegel, entstanden durch flächenhafte Lösung des Salzgesteins.
Sediment:	Durch Ablagerung von Verwitterungsprodukten sowie durch Mineralbildungen aus eindunstenden Salzlösungen (z. B. Meerwasser) entstandenes Gestein.

Sicherheitsanalyse:	Berechnungen und Untersuchungen möglicher radiologischer Auswirkungen eines Endlagers im bestimmungsgemäßen Betrieb, nach der Stilllegung und bei Störfällen.
Sohle:	Gesamtheit der annähernd in einem Niveau aufgefahrenen Grubenbaue; auch untere Grenzfläche eines Grubenbaus.
Sorption:	Aufnahme eines Gases oder gelösten Stoffes durch einen anderen festen oder flüssigen Stoff.
Störfall:	Ereignisablauf, bei dessen Eintreten der Betrieb der Anlage oder die Tätigkeit aus sicherheitstechnischen Gründen nicht fortgeführt werden kann und für den die Anlage auszulegen ist oder für den bei der Tätigkeit vorsorglich Schutzvorkehrungen vorzusehen sind.
Strahlenexposition:	Einwirkung ionisierender Strahlen auf den menschlichen Körper. Äußere Strahlenexposition ist die Strahlenexposition durch Strahlenquellen außerhalb des Körpers, innere Strahlenexposition ist die Strahlenexposition durch Strahlenquellen innerhalb des Körpers.
Strahlenquellen, umschlossene:	Radioaktive Stoffe, die ständig von einer allseitig dichten, festen, inaktiven Hülle umschlossen sind, die unter üblichen Transport- und Handhabungsbedingungen erhalten bleibt.
Strahlenschutz:	Voraussetzungen und Maßnahmen zum Schutz vor schädlichen Wirkungen ionisierender Strahlen.
Strahlung, ionisierende:	Jede Strahlung, die direkt oder indirekt Materie ionisiert, d. h. Atome bzw. Moleküle elektrisch auflädt.
Strecke:	Tunnelartiger Grubenbau, der nahezu horizontal aufgefahren ist.
Subrosion:	Unter der Erdoberfläche stattfindende Auflösung von löslichem Gestein durch Grundwässer.
Szenarium:	Ein Szenarium beschreibt die Entwicklungsmöglichkeit eines Endlagersystems, bestehend aus Biosphäre, Geosphäre und Endlager, das durch einen Satz von Merkmalen (Zuständen), Ereignissen und Prozessen spezifiziert wird und das System charakterisiert. Ein Szenarium wird durch einen Satz von Merkmalen, Ereignissen und Zuständen bestimmt.
Teufe:	Tiefenlage unter der Tagesoberfläche.
Tiefe:	Lage unter Normalnull (NN).
Umlösung:	Vorgänge in ungesättigten und/oder nicht an allen Komponenten gesättigten Lösungen (Wechsel von Lösung und Auskristallisation einzelner Komponenten) bei Reaktion dieser Lösungen mit löslichen Mineralen oder Gesteinen.
Unterwerksbau:	Abbau unterhalb der tiefsten an einen Schacht angeschlossenen Fördersohle.
Verfestigen:	Überführung von flüssigem oder flüchtigem radioaktiven Abfall in ein festes Abfallprodukt, z. B. mit Hilfe eines Fixierungsmittels.

Verfüllen:	Einbringen von Material in Grubenbaue zur Minimierung des Hohlraumvolumens.
Verpackung:	Gesamtheit der ein Abfallprodukt umschließenden, nicht wiederverwendbaren oder wiederverwendbaren Behälter.
Versatz:	Material für die Verfüllung oder Stützung von Grubenbauen.
Verschließen:	Abtrennung von Grubenbauen gegen das übrige Grubengebäude mit speziellen Bauwerken.
Vorflut:	Natürliche (Fluss, Bach) oder künstlich geschaffene Möglichkeit (Kanal, Pumpwerk), zufließendes Wasser abzuführen.
Wetter:	Bergmännischer Begriff für Luft im Bergwerk.
Zechenbuch/Betriebshandbuch:	Sammlung sämtlicher bergamtlicher Verwaltungsakte und Betriebsanweisungen.

ERA
Morsleben

14 VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN UND TABELLEN

Abb. 3-1:	Geographische Lage des ERAM.	8
Abb. 3-2:	Geologische Struktureinheiten und Richtung der Grundwasserbewegung (blaue Pfeile) im Bereich des ERAM.	10
Abb. 3-3:	Schematischer geologischer West - Ost - Schnitt durch das Allertal im Bereich des ERAM (Lage des Schnittes A – A' siehe Abb. 3-2).	11
Abb. 4-1:	Schachtanlage Bartensleben, vorhandene und geplante übertägige Anlagen.	15
Abb. 4-2:	Schachtanlage Marie, übertägige Anlagen.	16
Abb. 4-3:	Grubengebäude Bartensleben und Marie (Ansicht von Süd nach Nord) mit der eingezeichneten langjährig regelmäßig überwachten Zutrittsstelle wässriger Salzlösungen im Lager H.	18
Abb. 5-1:	Übersicht der Einlagerungsgrubenbaue.	20
Abb. 7-1:	Verfülltes und verschlossenes Grubengebäude Bartensleben.	25
Abb. 7-2:	Verfülltes und verschlossenes Grubengebäude Bartensleben; schematisierter West-Ost-Schnitt.	26
Abb. 8-1:	Schematische Darstellung des Ablaufes des Verfüllung.	30
Abb. 8-2:	Verfüllen von Grubenbauen mit Salzbeton.	32
Abb. 8-3:	Schematische Darstellung eines Abdichtungssegmentes im Steinsalz.	33
Abb. 8-4:	Schachtverschlussystem (Prinzipskizze).	34
Abb. 11-1:	Konzeptionelles Modell des Endlagersystems für die Ausbreitung über den Wasserpfad.	48
Abb. 11-2:	Zeitlicher Verlauf der Strahlenexposition nach EMOS und PROSA.	50
Abb. 12-1:	Zeitliche Entwicklung des Aktivitätsinventars in den Abfällen.	52
Tab. 3-1:	Im Bereich des ERAM vorkommende erdgeschichtliche Einheiten und Gesteine.	12
Tab. 5-1:	Einlagerungsgrubenbaue für radioaktive Abfälle im ERAM.	21
Tab. 8.3-1:	Übersicht über Hohlraum- und Versatzvolumina (ohne Schächte).	31
Tab. 12-1:	Vergleich von Schadstoffkonzentrationen.	55