

Stilllegung ERA Morsleben

Plan zur Stilllegung des
Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben

Bundesamt für Strahlenschutz



Bundesamt für Strahlenschutz

Titelfoto: Schrägaufnahme Schachanlage Bartensleben, April 2008; Quelle BfS

Salzgitter, 15.09.2009

INHALTSVERZEICHNIS

0	ANLASS UND ZUSAMMENFASSENDE BEWERTUNG DES VORHABENS	8
0.1	ANLASS UND GESAMTDARSTELLUNG DES VORHABENS	8
0.2	ZUSAMMENFASSENDE SICHERHEITSTECHNISCHE BEWERTUNG	12
1	STANDORT	15
1.1	ALLGEMEINE STANDORTBESCHREIBUNG	15
1.1.1	Einordnung des Standortes in die Raumordnung und Landesplanung	15
1.1.2	Geographische Lage	17
	Schachtanlage Bartensleben.....	19
	Schachtanlage Marie.....	19
1.1.3	Besiedlung.....	25
1.1.4	Böden, Vegetation und Landschaftsnutzung.....	27
1.1.5	Gewässer und Wassernutzung	31
1.1.6	Gewerbe- und Industriebetriebe, militärische Anlagen.....	32
1.1.7	Verkehrswege.....	32
1.1.8	Meteorologische Verhältnisse	34
1.2	RADIOLOGISCHE GEGEBENHEITEN.....	37
1.2.1	Radiologische Grundbelastung	38
1.2.2	Radiologische Vorbelastung.....	42
1.3	GEOLOGISCHE GEGEBENHEITEN	49
1.3.1	Geologische Barrieren.....	49
1.3.2	Stratigraphie und Lithologie	51
	Devon.....	53
	Karbon	53
	Perm	53
	Trias.....	55
	Jura.....	57
	Kreide.....	58
	Tertiär.....	58
	Quartär.....	59
1.3.3	Regionale Strukturgeologie	60
1.3.4	Tektonik des Nahbereiches	64
1.3.5	Geologischer Bau der Salzstruktur.....	66
	Sättel und Mulden.....	67
	Gesamtmächtigkeit der salinaren Schichten	70
	Entstehung der Salzstruktur	70
	Subrosion.....	71
	Permeabilitäten salinärer Gesteine	72
	Vorkommen von Gasen.....	72
	Vorkommen wässriger Salzlösungen	73
1.4	HYDROGEOLOGISCHE GEGEBENHEITEN	74
1.4.1	Abgrenzung des Untersuchungsgebietes.....	74
1.4.2	Hydrogeologischer Bau	76

	Lappwaldscholle (L).....	77
	Allertalzone (A)	79
	Weferlinger Triasplatte (T).....	82
	Zusammenfassung	85
1.4.3	Hydraulische Eigenschaften	87
1.4.4	Grundwasser	87
	Grundwasserbeschaffenheit	87
	Grundwasserneubildung.....	88
	Bewegung des Grundwassers.....	88
1.5	SEISMOLOGISCHE STANDORTVERHÄLTNISSE	91
2	STILLEGUNG	94
2.1	AUSGANGSSITUATION.....	94
2.1.1	Übertägige Anlagen.....	95
	Schachanlage Bartensleben.....	95
	Schachanlage Marie.....	96
2.1.2	Grubengebäude.....	99
2.1.3	Geomechanik	104
	Labor-/In-situ-Messungen und bergmännische Beobachtungen	104
	Geomechanische Modellrechnungen	105
2.1.4	Radioaktive Abfälle im ERAM.....	106
	Abfallbeschreibungen	110
	Beschreibung der Einlagerungsgrubenbaue	112
	Abfallüberdeckung/Hohlraumverfüllung.....	124
2.2	AUSLEGUNGSGRUNDLAGEN FÜR DIE STILLEGUNG	128
2.3	STILLEGUNGSKONZEPT	130
2.4	SICHERHEITSTECHNISCHE AUSLEGUNGSANFORDERUNGEN .	131
2.5	BESCHREIBUNG DER ANLAGEN FÜR DEN STILLEGUNGSBETRIEB.....	134
2.5.1	Auslegungskennziffern	134
2.5.2	Übertägige Anlagen.....	136
	Schachanlage Bartensleben.....	136
	Schachanlage Marie.....	139
2.5.3	Untertägige Anlagen.....	140
2.5.4	Brandschutz.....	143
2.6	GEPLANTE VERFÜLL- UND VERSCHLIEßMAßNAHMEN IN DEN GRUBENGEBÄUDEN.....	145
2.7	QUALITÄTSMANAGEMENT (QM).....	152
2.7.1	Qualitätsmanagementsystem	152
	QS-Bereich 1	153
	QS-Bereich 2	153
	QS-Bereich 3	154
2.7.2	Qualitätssicherung (QS)	154
3	STILLEGUNGSBETRIEB	156
3.1	STILLEGUNGSMAßNAHMEN	156
3.1.1	Rückbaumaßnahmen in der untertägigen Anlage	156
3.1.2	Kontrollbereich.....	156
3.1.3	Herstellen der Abdichtungen (Verfüllkategorie I).....	158

	Horizontale Streckenabdichtungen.....	158
	Vertikale Abdichtung im südlichen Wetterrolloch	163
3.1.4	Abdichten von untertägigen Bohrungen	165
3.1.5	Versatzmaßnahmen	169
	Salzbeton und Versatzverfahren	169
	Überschusslösung	171
	Anforderungen an die Verfüllmaßnahmen.....	171
	Verfüllkategorien.....	172
	Verfüllablauf gemäß Verfüllplan	174
	Verfüllung des Kontrollbereichs.....	178
	Bewetterung.....	181
	Großbohrloch.....	182
3.1.6	Verfüllen der Schächte Bartensleben und Marie	182
3.2	ABLAUF DER MATERIALTRANSPORTE	184
3.3	BETRIEBSORGANISATION	185
3.4	BETRIEBLICHE ABFÄLLE.....	186
3.4.1	Betriebliche radioaktive Abfälle	186
3.4.2	Sonstige betriebliche Abfälle	190
3.5	STRAHLUNGSÜBERWACHUNG	191
	Arbeitsplatzüberwachung	191
	Personendosimetrie.....	192
	Emissionsüberwachung.....	193
	Immissionsüberwachung	194
3.6	SICHERUNGSMÄßNAHMEN	195
3.7	ABSCHLUSS DES BETRIEBES	195
4	AUSWIRKUNGEN	196
4.1	RADIOLOGISCHE AUSWIRKUNGEN.....	196
	Direktstrahlung.....	196
	Aktivitätsfluss und Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern	197
	Aktivität in Wässern	199
4.1.1	Strahlenexposition in der Umgebung	200
	Auswirkungen auf die Schutzgüter der Umwelt.....	206
4.1.2	Sonstige radiologische Auswirkungen.....	207
	Betriebliche radioaktive Abfälle	207
	Störfälle.....	207
4.2	KONVENTIONELLE AUSWIRKUNGEN	208
4.2.1	Ableitungen über den Luftpfad	208
	Art und Menge	208
	Auswirkungen auf die Umwelt	209
4.2.2	Ableitungen über den Wasserpfad	211
	Art und Menge	211
	Schutzmaßnahmen.....	211
	Auswirkungen auf die Umwelt	211
4.2.3	Betriebliche konventionelle Abfälle.....	212
	Art und Menge	212
	Schutzmaßnahmen.....	212
	Auswirkungen auf die Umwelt	212
4.2.4	Sonstige konventionelle Auswirkungen.....	213
	Lärm.....	213
	Senkungen.....	213

4.3	ZUSAMMENFASSENDE BEURTEILUNG DER UMWELTAUSWIRKUNGEN/WECHSELBEZIEHUNGEN.....	214
5	SICHERHEITSANALYSEN.....	216
5.1	STANDSICHERHEIT DER GRUBENGEBÄUDE WÄHREND DES STILLLEGUNGSBETRIEBES	216
5.2	RADIOLOGISCHE VERHÄLTNISSE IM BESTIMMUNGSGEMÄßEN STILLLEGUNGSBETRIEB	217
5.2.1	Strahlenexposition des Personals	217
5.2.2	Wirkung der Strahlung auf das Salzgestein	220
5.3	STÖRFALLANALYSEN.....	221
5.3.1	Anlageninterne Ereignisse.....	224
	Interner Brand.....	225
	Beaufschlagung der radioaktiven Abfälle	226
	Gebirgsmechanische Einwirkungen	229
	Instantane Freisetzung flüchtiger radioaktiver Stoffe	232
	Deflagration zündfähiger Gasgemische	234
	Sonstige im Einzelfall zu betrachtende anlageninterne Ereignisse.....	237
	Feineinwirkungen auf Einlagerungsgrubenbaue und Funktionsräume.....	238
5.3.2	Ereignisse durch naturbedingte und sonstige Einwirkungen von außen	239
	Zutritt von Schachtwässern und wässrigen Salzlösungen in das Grubengebäude ..	240
	Erdbeben	241
	Hochwasser	242
	Sturm, Eis und Schnee, Blitzschlag.....	242
	Explosionsdruckwelle	242
	Ansaugen zündfähiger und toxischer Gase.....	243
	Flugzeugabsturz	244
	Störmaßnahmen und sonstige Einwirkungen Dritter.....	245
5.3.3	Kritikalitätsstörfälle.....	245
5.4	LANGZEITSICHERHEIT	246
5.4.1	Verfüllmaßnahmen	248
	Versetzen der Grubenbaue	248
	Abdichten der Einlagerungsbereiche.....	249
	Verfüllen der Schächte	250
	Verfüllen von Bohrlöchern	252
5.4.2	Szenarien	252
	Bergbau-Szenarien.....	254
	Geologische Szenarien.....	255
	Klima-Szenarien	256
	Szenarien aufgrund menschlicher Einwirkungen	258
	Subrosion.....	260
5.4.3	Konsequenzanalyse	261
	Vorgehensweise	261
	Berücksichtigte Effekte und deren Modellierung	265
	Druckanstieg in den trockenen Gruben	275
	Ausbreitung über den Wasserpfad	276
	Ausbreitung über den Gaspfad.....	282
5.4.4	Ergänzende Sicherheitsbetrachtungen	285
	Aktivitätsinventar im Endlager	285
	Integrierte Freisetzung aus Teilbereichen des Endlagers.....	286
	Szenarien aufgrund menschlicher Einwirkungen	288
	Gefährdungspotenzial chemischer Schadstoffe.....	289

6	ABKÜRZUNGEN, FACHBEGRIFFE, ABBILDUNGEN UND TABELLEN	292
6.1	ERLÄUTERUNG DER VERWENDETEN ABKÜRZUNGEN	292
6.2	ERLÄUTERUNG DER VERWENDETEN FACHBEGRIFFE	297
6.3	VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN	313
6.4	VERZEICHNIS DER TABELLEN	317
6.5	MAßE UND EINHEITEN	319

ERA
Morsleben

0 ANLASS UND ZUSAMMENFASSENDE BEWERTUNG DES VORHABENS

0.1 ANLASS UND GESAMTDARSTELLUNG DES VORHABENS

Das Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) liegt unmittelbar an der westlichen Landesgrenze von Sachsen-Anhalt zwischen Magdeburg und Braunschweig. Es wurde im ehemaligen Kali- und Steinsalzbergwerk Bartensleben eingerichtet. In ca. 1,5 km Entfernung befindet sich das ehemalige Salzbergwerk Marie.

Die dazugehörigen Schächte Bartensleben und Marie wurden um 1900 abgeteuft. Anschließend wurden in beiden Schachtanlagen Steinsalz und Kalisalz abgebaut. Das Grubengebäude der Schachtanlage Bartensleben ist 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. Die Auslagerung dieser Salze wurde 1996 abgeschlossen.

1970 wurde die Schachtanlage Bartensleben von der Deutschen Demokratischen Republik (DDR) aus zehn Salzbergwerken als Endlager für radioaktive Abfälle ausgewählt. Die Errichtung und der Betrieb des ERAM verliefen 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 Atom-sicherheit und Strahlenschutz (SAAS) der DDR.

Durch den aufgrund des Einigungsvertrages in das Atomgesetz (AtG) eingefügten § 57 a und das Gesetz zur Änderung des Atomgesetzes vom 22.04.2002 gilt die DBG mit Ausnahme der Regelungen für die Annahme und Endlagerung weiterer radioaktiver Abfälle als Planfeststellungsbeschluss (PFB) i. S. d. § 9 b AtG fort. Im Jahr 2003 wurde vom BfS beantragt, das Endlager nach dem Verzicht auf weitere Einlagerungen auf einen Offenhaltungsbetrieb umzurüsten. Hierzu wurde ein Plan für die Umrüstung und den Offenhaltungsbetrieb des ERAM eingereicht, der die Ausgangssituation für das Vorhaben Stilllegung beschreibt.

Das BfS hat am 7. November 1990 die Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (DBE) als Dritten gemäß § 9 a Abs. 3 Satz 2 AtG mit der Betriebsführung des ERAM beauftragt.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) hat die „Eigenüberwachung Bundesendlager“ (heute: „Endlagerüberwachung – Atom-rechtliche Aufsicht“) mit der Aufsicht beauftragt.

Im ERAM sind etwa 37.000 m³ niedrig- und mittelradioaktive Abfälle mit überwiegend kurzlebigen Radionukliden und einer Gesamtaktivität von weniger als 6·10¹⁴ Bq eingelagert (30.06.2005). In diesen Angaben sind die im Ostfeld und im Untertage-Messfeld (UMF) zwischengelagerten Abfälle enthalten.

Der am 13. Oktober 1992 bei der zuständigen Planfeststellungsbehörde des Landes Sachsen-Anhalt gestellte Antrag auf Weiterbetrieb und Stilllegung wurde mit Antrag vom 9. Mai 1997 auf die Stilllegung des ERAM beschränkt. Im Rahmen dieses Verfahrens soll neben der Stilllegung des ERAM die Endlagerung der bisher zwischengelagerten radioaktiven Abfälle sowie die Endlagerung der noch während des Stilllegungsbetriebes anfallenden betrieblichen radioaktiven Abfälle genehmigt werden.

Bereits vor dem Beginn der Stilllegungsmaßnahmen wird im Rahmen des Offenhaltungsbetriebs der Kontrollbereich über Tage und im Schacht Bartensleben nach Prüfung und Freimessung aller Flächen, Bauten, Maschinen und Anlagen entsprechend § 29 Strahlenschutzverordnung aufgehoben. Für den Fall, dass dabei eine Freigabe wegen der Überschreitung der Freigabewerte nicht möglich ist, müssen die entsprechenden Gegenstände gesondert geborgen und einer Dekontamination bzw. Endlagerung zugeführt werden. Damit ist gewährleistet, dass keine Kontaminationen in und an den während der Stilllegungsphase und danach noch genutzten Maschinen und Einrichtungen zur Gefährdung von Mensch und Umwelt führen können. Auch Einschränkungen hinsichtlich der Nutzung von Flächen und Anlagenteilen nach dem Abschluss der Stilllegung des ERAM durch radioaktive Kontaminationen sind somit ausgeschlossen.

Durch die Stilllegungsmaßnahmen wird der sichere Abschluss der radioaktiven Abfälle von der Biosphäre hergestellt und die Langzeitsicherheit gewährleistet.

Die Auswahl des Konzeptes und die Planung der Maßnahmen zur Stilllegung schließen eine Rückholbarkeit der Abfälle nach Abschluss der Stilllegungsmaßnahmen aus, da die Zugangsmöglichkeiten zum Grubengebäude und damit zu den eingelagerten Abfällen verfüllt und abgedichtet werden.

Die Grubengebäude werden so verfüllt, dass nur geringe Mengen an Lösungen in die Einlagerungsbereiche fließen können. Dadurch können auch nur geringe Mengen an kontaminierten Lösungen durch Konvergenz und Gasbildung aus den Einlagerungsbereichen ausgepresst werden. Hierzu werden in den Grubengebäuden umfangreiche Verfüll- und Verschlussmaßnahmen durchgeführt und die Schächte Bartensleben und Marie mit geotechnischen Barrieren abgedichtet.

Das Vorhaben beginnt mit der Umrüstung des ERAM auf den Stilllegungsbetrieb. Nach der Umrüstung werden maximal ca. 2.500 m³ Salzbeton pro Tag durch Rohrleitungen eingebracht. Die Stilllegung wird etwa 15 Jahre dauern.

Nach Abschluss der Stilllegungsmaßnahmen wird die Tagesoberfläche nach Maßgabe eines Abschlussbetriebsplanes wieder nutzbar gemacht. Es kann entweder ein Rückbau der übertägigen Anlagen mit nachfolgender Rekultivierung der Betriebsflächen oder eine anderweitige Nutzung erfolgen.

Mit dem vorliegenden Plan sollen „im Hinblick auf die kerntechnische Sicherheit und den Strahlenschutz die für die Entscheidung über den Antrag erheblichen Auswirkungen des Vorhabens dargelegt und Dritten insbesondere die Beurteilung ermöglicht werden, ob sie durch die mit der Anlage und ihrem Betrieb verbundenen Auswirkungen in ihren Rechten verletzt werden können...“ (§ 3 Abs. 1 Atomrechtliche Verfahrensverordnung - AtVfV). Außerdem enthält der Plan die entsprechenden Angaben im Hinblick auf die sonstigen einschlägigen Fachrechte.

Die Ermittlung, Beschreibung und Bewertung der unmittelbaren und mittelbaren Auswirkungen der Stilllegung des ERAM auf

Menschen, einschließlich der menschlichen Gesundheit, Tiere, Pflanzen und die biologische Vielfalt,

Boden, Wasser, Luft, Klima und Landschaft,

Kulturgüter und sonstige Sachgüter

sowie der Wechselwirkungen zwischen den vorgenannten Schutzgütern sind Gegenstand einer Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP). Das BfS hat eine Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) erstellt, in der alle Ergebnisse aus den Umweltuntersuchungen dargestellt und beurteilt worden sind.

Im Plan sind die konventionellen Auswirkungen auf Dritte und die radiologischen Auswirkungen auf alle Schutzgüter beschrieben. In der UVS sind die konventionellen Auswirkungen auf alle Schutzgüter beschrieben und die radiologischen Auswirkungen ebenfalls dargestellt.

Zusätzlich zur Umweltverträglichkeitsstudie werden das Vorhaben der Stilllegung des ERAM, seine Auswirkungen auf die Umwelt während und auch im Ergebnis der Stilllegungsmaßnahmen in einer zusammenfassenden, nichttechnischen Unterlage beschrieben.

In der ausgelegten Unterlage „Übersicht über die geprüften technischen Verfahrensalternativen zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM)“ werden Verfahrensalternativen bewertet. Die Auslagerung der endgelagerten radioaktiven Abfälle ist aber keine technische Verfahrensalternative im Rahmen des beantragten Stilllegungsverfahrens, sondern wäre ein neues Vorhaben, für das ein alternatives Verfahren erforderlich wäre. Zudem würde sich das Abfallvolumen bei einer Auslagerung der endgelagerten Abfälle insbesondere durch kontaminierten Salzgrus erheblich erhöhen.

Vor dem Hintergrund des geführten Langzeitsicherheitsnachweises (siehe Kapitel 5.4) ist aufgrund der mit einer Auslagerung verbundenen zusätzlichen Strahlenexposition sowie eines nicht gegebenen bzw. nicht quantifizierbaren Sicherheitsgewinns die Auslagerung der radioaktiven Abfälle aus dem ERAM entsprechend § 4 Abs. 1 StrlSchV nicht gerechtfertigt und daher nicht zulässig.

Die ebenfalls nach § 3 AtVfV auszulegende Unterlage „Maßnahmen im Zusammenhang mit dem Anfall von radioaktiven Reststoffen“ beschreibt die Art und Herkunft, den Umgang und die geordnete Beseitigung von radioaktiven Reststoffen, die noch während der Stilllegung anfallen werden.

Die wichtigsten rechtlichen Grundlagen für die Planung und Durchführung der Stilllegung des ERAM sind in Kapitel 2.2 zusammengestellt.

0.2 ZUSAMMENFASSENDE SICHERHEITSTECHNISCHE BEWERTUNG

Zu Beginn des Stilllegungsbetriebs wird das ERAM im Offenhaltungsbetrieb geführt. Mit der Plangenehmigung zur Umstellung auf den Offenhaltungsbetrieb wurde festgestellt, dass die erforderliche Vorsorge gegen Schäden durch den Betrieb des ERAM getroffen wurde. Detaillierte Regelungen zur Vorsorge gegen Schäden sind in den Betriebsvorschriften enthalten. Diese bleiben auch während der Umrüst- und Stilllegungsphase bindend, falls sich im Rahmen der Stilllegung kein Änderungsbedarf ergibt.

Die Maßnahmen zur Stilllegung des ERAM sind im Hinblick darauf zu bewerten, dass insbesondere die Anforderungen des AtG und der darauf basierenden untergesetzlichen Regelwerke und sonstigen Vorschriften, Regeln und Richtlinien eingehalten werden.

Für den bestimmungsgemäßen Stilllegungsbetrieb einschließlich anomaler Betriebszustände sowie für zu unterstellende Störfälle und für den Nachweis der Langzeitsicherheit wurden Sicherheitsanalysen durchgeführt und gezeigt, dass die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden getroffen ist (Kapitel 5).

Die Auslegungsgrundlagen für die Stilllegung sind in Kapitel 2.2 detailliert dargestellt. Solange das Endlager nicht verfüllt und verschlossen ist und die Umrüst- und Stilllegungsmaßnahmen durchgeführt werden, sind zum Schutz von Mensch und Umwelt vor Strahlenexpositionen aus Tätigkeiten die Dosisgrenzwerte der §§ 46, 47, 55, 56 und 58 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) einzuhalten. Die Grenzwerte der effektiven Dosis im Kalenderjahr betragen nach § 46 Abs. 1 für den Schutz von Einzelpersonen der Bevölkerung 1 mSv und nach § 55 Abs. 1 Satz 1 für den Schutz beruflich strahlenexponierter Personen bei deren Berufsausübung 20 mSv. Nach § 47 Abs. 1 beträgt der Grenzwert für die durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser aus Anlagen oder Einrichtungen bedingte Strahlenexposition von Einzelpersonen der Bevölkerung im Kalenderjahr 0,3 mSv für die effektive Dosis.

Zudem besteht die Verpflichtung, jede Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalls auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich zu halten (§ 6 Abs. 2 StrlSchV).

Wie bereits im Offenhaltungsbetrieb treten auch während des Umrüst- und Stilllegungsbetriebes nur noch sehr geringe Strahlenexpositionen in der Umgebung der Anlage auf. Bereits vor Beginn der Stilllegung wird der überragige Kontrollbereich rückgebaut und die Kontaminationsfreiheit von Anlagen, Gebäuden und Bodenflächen auch außerhalb des Kontrollbereichs durch das Verfahren der Freimessung sichergestellt. Danach wird der Kontrollbereich über Tage und im Schacht

Bartensleben aufgehoben. Der untertägige Kontrollbereich (Kapitel 3.1.2) wird im Laufe des Stilllegungsbetriebes sukzessive verfüllt und verschlossen.

Bis zur Verfüllung aller Zugangsstrecken zu den Einlagerungsbereichen können, wie bisher auch, geringe Mengen flüchtiger radioaktiver Stoffe mit den Abwettern in die Umgebung gelangen. Die hierdurch für die Referenzpersonen der Bevölkerung resultierende potenzielle Strahlenexposition wurde berechnet und es wurde gezeigt, dass die Dosisgrenzwerte des § 47 Abs. 1 StrlSchV für die Strahlenexposition in der Umgebung eingehalten werden (Kapitel 4.1.1).

Das Endlager wird so verfüllt und verschlossen, dass es auch in Zukunft keine unzulässigen Auswirkungen auf die Umwelt und den Menschen haben wird. Durch die Verfüll- und Verschließmaßnahmen werden Zuflüsse in die Grubengebäude sowie das Freisetzen und das Ausbreiten von Radionukliden aus den Einlagerungsbereichen bis in den Bereich der Biosphäre zeitlich so verzögert und behindert, dass der Großteil der Radionuklide zerfallen ist, bevor diese die Biosphäre erreichen können.

In den „Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk“ (Bundesanzeiger, Jahrgang 1983, Nr. 2 vom 05.01.1983) wird gefordert: „Nach Beendigung der Betriebsphase muss das gesamte Endlager sicher gegen die Biosphäre abgeschlossen werden. Auch nach der Stilllegung dürfen Radionuklide, die als Folge von nicht vollständig ausschließbaren Transportvorgängen aus einem verschlossenen Endlager in die Biosphäre gelangen könnten, nicht zu Individualdosen führen, die die Werte des § 45 der Strahlenschutzverordnung überschreiten.“ (Anmerkung: § 45 wurde aufgrund der Novellierung vom 20.07.2001 durch den § 47 StrlSchV ersetzt.)

In der radiologischen Langzeitsicherheitsanalyse (Kapitel 5.4) werden zuerst Szenarien für die Durchführung von Modellrechnungen abgeleitet und ausgewählt und dann die potenzielle Strahlenexposition (effektive Dosis) als Folge von Freisetzungen der eingelagerten Radionuklide in die Biosphäre ermittelt.

Im Langzeitsicherheitsnachweis wird gezeigt, dass der für den Betrieb von Anlagen in § 47 StrlSchV genannte Wert von 0,3 mSv/a für die effektive Dosis einer Einzelperson der Bevölkerung durch die Ableitung radioaktiver Stoffe in die Umgebung auch in der Zeit nach dem Verschluss des ERAM nicht überschritten wird. Die Berechnung der Strahlenexposition erfolgt für eine erwachsene Einzelperson in Anlehnung an die Berechnungsvorschriften (AVV) zu § 47 StrlSchV.

In konventioneller Hinsicht ist insbesondere sicherzustellen, dass schädliche Umwelteinwirkungen durch die in den Abfallgebänden auch vorhandenen chemischen Schadstoffe vermieden oder auf ein Mindestmaß beschränkt werden (§ 34 WHG, § 138 WG LSA).

Im § 55 Abs. 1 Nr. 5 BBergG wird gefordert, dass für den Schutz der Tagesoberfläche ausreichend Sorge getragen wird, so dass es langfristig insbesondere nicht zu

Senkungen und Schiefstellungen an der Tagesoberfläche kommen darf, die unzulässige Auswirkungen auf Schutzgüter haben können.

Das Stilllegungskonzept für das Endlager ist so ausgelegt, dass die oben genannten Schutzziele eingehalten werden. Dies wird durch Sicherheitsanalysen für die verfüllten und verschlossenen Grubengebäude nachgewiesen.

In den Sicherheitskriterien wird die Endlagerung radioaktiver Abfälle als eine wartungsfreie und zeitlich unbefristete Beseitigung dieser Abfälle definiert. Daher wird die Stilllegung des ERAM so durchgeführt, dass nach Beendigung aller Stilllegungsmaßnahmen kein Kontroll- und Überwachungsprogramm erforderlich ist.

1 STANDORT

In diesem Kapitel werden die natürlichen Gegebenheiten über und unter der Erdoberfläche sowie die durch den Menschen geschaffenen Veränderungen im Bereich des ERAM beschrieben. Die standortbezogenen Daten werden dargestellt, um die Auswirkungen des Vorhabens beurteilen zu können.

Das ERAM liegt unmittelbar an der westlichen Landesgrenze von Sachsen-Anhalt zwischen Magdeburg und Braunschweig nahe der Bundesautobahn 2. Das Gebiet ist landwirtschaftlich geprägt und relativ dünn besiedelt. Die Endlagerung der radioaktiven Abfälle erfolgte im tiefen geologischen Untergrund in Salzgesteinen. Sie werden von z. T. mächtigen schwer- bzw. nichtlöslichen Rückständen dieser Gesteine sowie von tonigen und sandigen Gesteinen überdeckt. Das geologische Umfeld des ERAM ist geprägt durch die Struktureinheiten Allertalzone, Lappwaldscholle und Weferlinger Triasplatte. Diese drei Einheiten sind in ihrer Gesteinsabfolge sowie morphologisch unterschiedlich ausgebildet. Grundwasserbewegung findet überwiegend in oberflächennahen Schichten statt. Der Standortraum liegt in einer Zone geringer Erdbebengefährdung.

1.1 ALLGEMEINE STANDORTBESCHREIBUNG

1.1.1 Einordnung des Standortes in die Raumordnung und Landesplanung

In den landesplanerischen Unterlagen der Bundesländer Sachsen-Anhalt und Niedersachsen sowie in den Planungsunterlagen des ehemaligen Regierungsbezirkes Magdeburg und des Großraumes Braunschweig einschließlich des Landkreises Helmstedt sind für den Bereich des ERAM Entwicklungen vorgesehen, die vorrangig bestimmt sind durch

- den Ausbau der Ost-West-Verkehrsverbindungen,
- die Entwicklung der Mittel- und Grundzentren,
- die Entwicklung des Fremdenverkehrs und des Erholungsangebotes,
- die Sicherung und Entwicklung von Arbeitsstätten in Industrie und Gewerbe sowie
- die Sicherung der Trinkwasserversorgung und der Naturschutzgüter.

Festlegungen, die sich aus dem Regionalen Entwicklungsplan für die Planungsregion Magdeburg (Stand: 2006) und aus dem Regionalen Raumordnungsprogramm für den Großraum Braunschweig (Stand: 2008) für den 10-km-Bereich um das ERAM ergeben, sind in Tab. 1.1-1 dargestellt.

Tab. 1.1-1: Einordnung des 10-km- Bereiches um das ERAM in Raumordnung und Landesplanung.

Ziele der Raumordnung	Land Sachsen-Anhalt	Land Niedersachsen
Zentralörtliche Gliederung		
Oberzentrum	-	-
Mittelzentrum	-	Helmstedt, Emmerstedt
Grundzentrum	Erleben, Völpke, Weferlingen	Büddenstedt, Grasleben
Vorranggebiete		
Natura 2000	-	Wälder und Pfeifengras-Wiesen im südl. Lappwald
Kulturelles Sachgut	k. A.	Landwehr HE, Lübbensteine HE
Großschutzgebiete	-	Elm-Lappwald (Naturpark)
Natur und Landschaft	Bischofswald und Hagholz bei Weferlingen; Erlebener Forst; Flechtinger Höhenzug; Hödinger Busch und Nievoldhagen; Lappwald	-
Erholung und Tourismus	-	Elm-Lappwald
Landwirtschaft	Teile der Magdeburger Börde (z. T. auch Vorbehaltsgebiete)	-
Rohstoffgewinnung	Quarzlagerstätte Walbeck/Weferlingen; Hartgesteinlagerstätte Flechtinger Höhenzug; Wefensleben (Ton)	Braunkohle in Emmerstedt, Quarzsand in Grasleben
tiefliegende Rohstoffgewinnung	-	Salzabbau in Grasleben
Hochwasserschutz	Aller, Großer Graben, Ohre	Vorranggebiete und Vorhaltsgebiet: Offleben
Windenergie	Völpke	Büddenstedt (Neu Büddenstedt)
Hauptbahnstrecke	k. A.	Braunschweig-Helmstedt
Eisenbahn- u. RegioStadt-Bahnstrecken	k. A.	Grasleben-Helmstedt, Büddenstedt-Helmstedt
Vorbehaltsgebiete		
Tourismus und Erholung	Flechtinger Höhenzug/Harbke; Lappwald	Lappwald
Für den Aufbau eines ökologischen Verbundsystems	Lappwald/Flechtinger Höhenzug, Auenniederung, Hohes Holz und Allerniederung, Harbke-Allertal, Lappwald-Allerniederung, Lappwald einschl. Bachtäler, Seelsches Bruch	k. A.
Wiederbewaldung/ Erstaufforstung	Bereich westlich Harbke	k. A.
Eignungsgebiete		
Rohstoffgewinnung	Walbeck-Weferlingen (Quarzsand)	-
Windenergie	Siestedt	-
Schnittstellen des ÖPNV	Völpke	-
Ausbau Schienennetz	Strecke Magdeburg-Eilsleben-Marienbom	-
Trassensicherung Schienennetz	Völpke-Eilsleben-Haldensleben; Weferlingen-Haldensleben	k. A.
Straßennetz (Neu- und Ausbau)	BAB 2 Hannover-Magdeburg (abgeschlossen) B 1 Helmstedt-Magdeburg, B 245 Haldensleben-Halberstadt, B 245a Helmstedt-Barneberg L 40 Wefensleben-Ummendorf L 43 Flechtingen-Weferlingen	BAB 2 Hannover-Magdeburg (Auszug genannt)
Regional bedeutsame Standorte		
Für Industrie und Gewerbe	Harbke (inkl. Industriegebiet)	k. A.
Für Kultur und Denkmalspflege	Erleben, Harbke, Hödingen, Marienbom, Ummendorf, Walbeck	-
Großflächige und regional bedeutsame Sportanlagen	-	Flugsport in Emmerstedt
Abfallwirtschaftliche Anlagen	Morsleben	-
Bedeutsame Rad-, Wander- Reiterwege	Aller-Radweg	Grünes Band (Rad- u. Wanderweg); West-Ost-Radfernweg (Nds.); Deutscher Reiterpfad Nr. 2, Nds. Reiterpfad;
Besondere Entwicklungsaufgabe Erholung und Tourismus	k. A.	Grasleben, Helmstedt, Bad Helmstedt

k. A. Keine Angaben, - im 10-km-Bereich nicht vorhanden

1.1.2 Geographische Lage

Das ERAM liegt ungefähr auf halber Strecke zwischen Magdeburg und Braunschweig im Bundesland Sachsen-Anhalt auf dem Gebiet des Landkreises Börde. Die Schachtanlagen Bartensleben und Marie liegen im Bereich der Gemarkungen Morsleben (Schachtanlage Bartensleben) und Beendorf (Schachtanlage Marie). Die Schächte Bartensleben und Marie sind ca. 1,7 km voneinander entfernt. Details zur geographischen Lage des ERAM sind der Abb. 1.1-1 sowie der Abb. 1.1-3 zu entnehmen.

In der Abb. 1.1-2 sind die Schächte Bartensleben und Marie sowie benachbarte Bergbauobjekte dargestellt. Im Norden liegt die ehemalige Schachtanlage Buchberg am dichtesten zum Grubengebäude Marie, im Süden ist der Schacht Alleringersleben dem Grubengebäude Bartensleben am nächsten. In der Tab. 1.1-2 sind die in der Abb. 1.1-2 dargestellten Bergbauobjekte mit Abbauteufen und Abbauzeitraum aufgelistet.

Tab. 1.1-2: Bergbauobjekte (unter Tage) innerhalb des 10-km- Bereiches um das ERAM (siehe auch Abb. 1.1-2).

Bergbauobjekt	Bodenschatz	Teufe des Schachtes bzw. Grubengebäudes in m	Abbauzeitraum	Bemerkung
Braunschweig-Lüneburg - Schacht Braunschweig-Lüneburg 1 - Schacht Braunschweig-Lüneburg 2 - Schacht Braunschweig-Lüneburg 3	Kali- und Steinsalz	380 bis 690 600 670 662	seit 1910	in Betrieb; seit 1926 nur noch Steinsalzgewinnung
Walbeck/Buchberg - Schacht Gerhard - Schacht Buchberg	Kali- und Steinsalz	340 bis 570 429 522	1902 bis 1924	beide Schächte 1946 gesprengt; im Ersaufen
Schacht Alleringersleben	Kali- und Steinsalz	330	1909 bis 1914 nur Schacht abgeteuft	kein Abbau
Schacht Belsdorf	Kali- und Steinsalz	500 bis 570	1911 bis 1924	ersoffen
Schacht Wefensleben	Kali- und Steinsalz	550 bis 800	1908 bis 1924	im Ersaufen
Schacht Ummendorf	Kali- und Steinsalz	119	1912 bis 1913 nur Schacht abgeteuft	kein Abbau
Morsleben	Steinkohle	tagesnah	um 1700 bis 1872	
Marienborner Werk	Steinkohle	tagesnah bis 30	Anf. 18. Jh. bis 1863	
Victoria Marienborn	Steinkohle	ca. 15	1826 bis 1835	
Wefensleben	Steinkohle		1741 bis 1825	1.600 m Stollen

Schachtanlage Bartensleben

Das Gelände der Schachtanlage Bartensleben liegt ca. 1 km nordwestlich des Mittelpunktes der Ortschaft Morsleben. Der Ansatzpunkt des Schachtes Bartensleben liegt ca. 25 m über der Aller, die ca. 1 km östlich der Schachtanlage Bartensleben vorbeifließt. Der Mittelpunkt des Schachtes Bartensleben hat folgende Gauß-Krüger-Koordinaten:

$$R = 44\ 38\ 673,8$$

$$H = 57\ 88\ 155,1$$

Seine Rasenhängebank liegt in einer Höhe von +133,8 m NN.

Liegenschaftsrechtlich gehört das Gelände im Bereich der Schachtanlage Bartensleben bis auf ein Flurstück zur Flur 2 der Gemarkung Morsleben. Eigentümerin des Geländes im Bereich der Schachtanlage Bartensleben (ca. 16 ha) ist die Bundesrepublik Deutschland (Tab. 1.1-3 und Abb. 1.1-4).

Schachtanlage Marie

Das Gelände der Schachtanlage Marie liegt ca. 700 m südsüdöstlich des Mittelpunktes der Ortschaft Beendorf. Der Ansatzpunkt des Schachtes Marie liegt ca. 25 m über der Aller, die ca. 1 km ostnordöstlich der Schachtanlage Marie vorbeifließt. Der Mittelpunkt des Schachtes Marie hat folgende Gauß-Krüger-Koordinaten:

$$R = 44\ 38\ 014,3$$

$$H = 57\ 89\ 639,9$$

Seine Rasenhängebank liegt in einer Höhe von +129,1 m NN.

Liegenschaftsrechtlich gehört das Gelände der Schachtanlage Marie zur Flur 2 der Gemarkung Beendorf. Eigentümerin des Geländes der Schachtanlage Marie (ca. 2 ha) ist die Bundesrepublik Deutschland (Tab. 1.1-3 und Abb. 1.1-5).

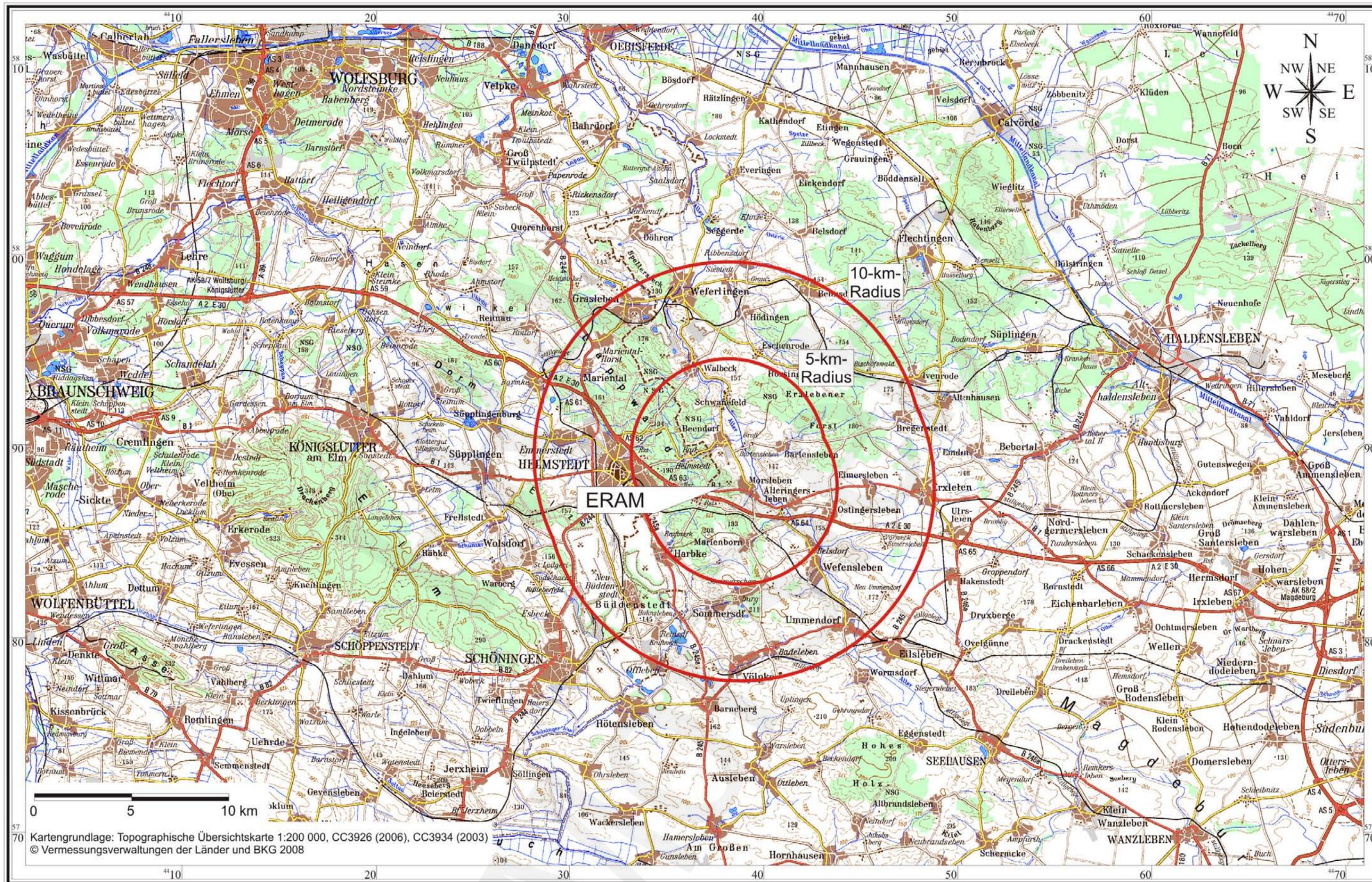


Abb. 1.1-1: Topographische Karte mit markiertem Standort des ERAM, 5-km- und 10-km-Bereich.

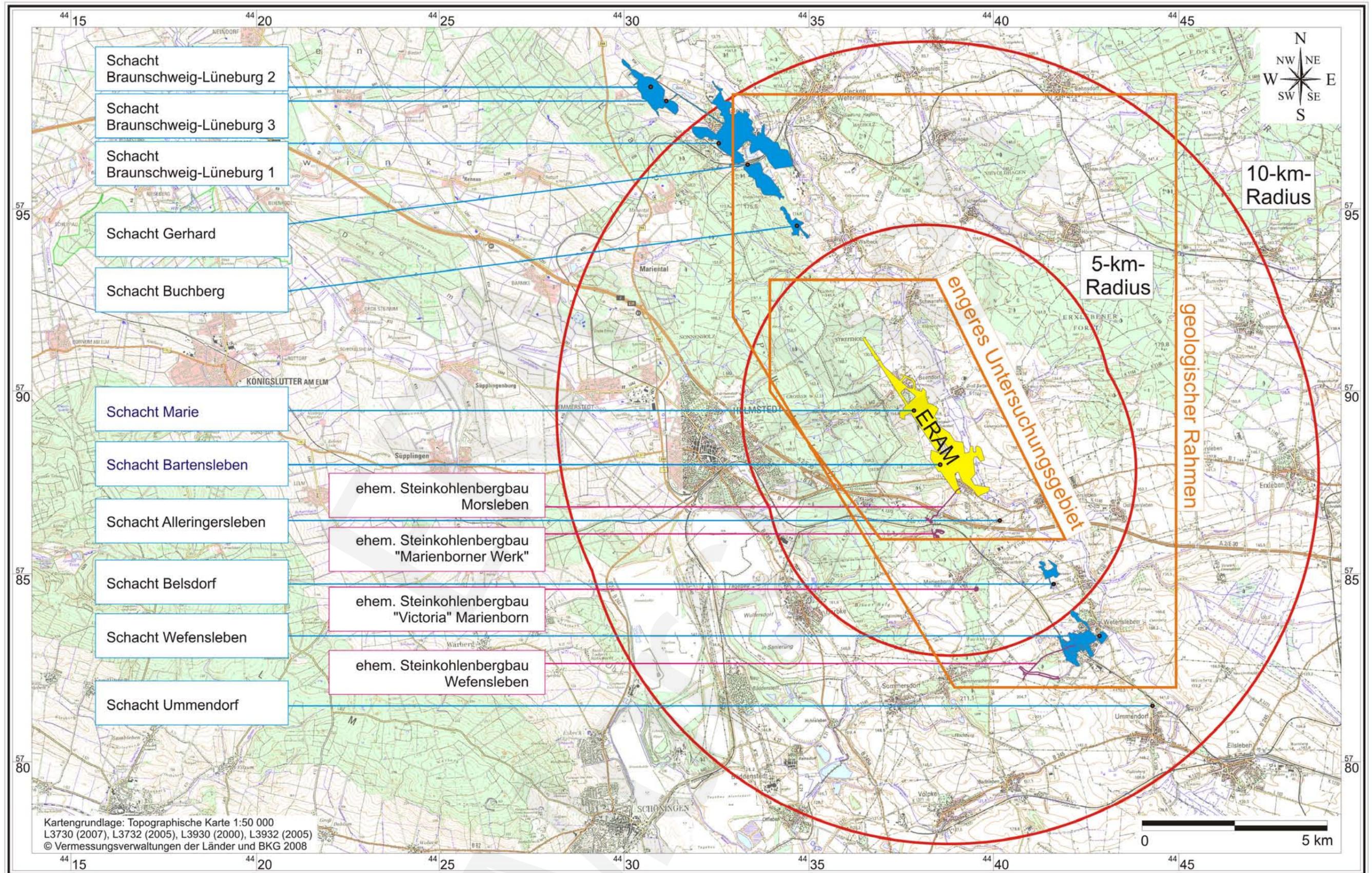


Abb. 1.1-2: Topographische Karte mit schematischer Darstellung der innerhalb des 10-km- Bereiches um das ERAM gelegenen Bergbauobjekte (unter Tage), siehe auch Tab. 1.1-2 und Darstellung der im Kapitel 1.4.1 beschriebenen Untersuchungsgebiete.

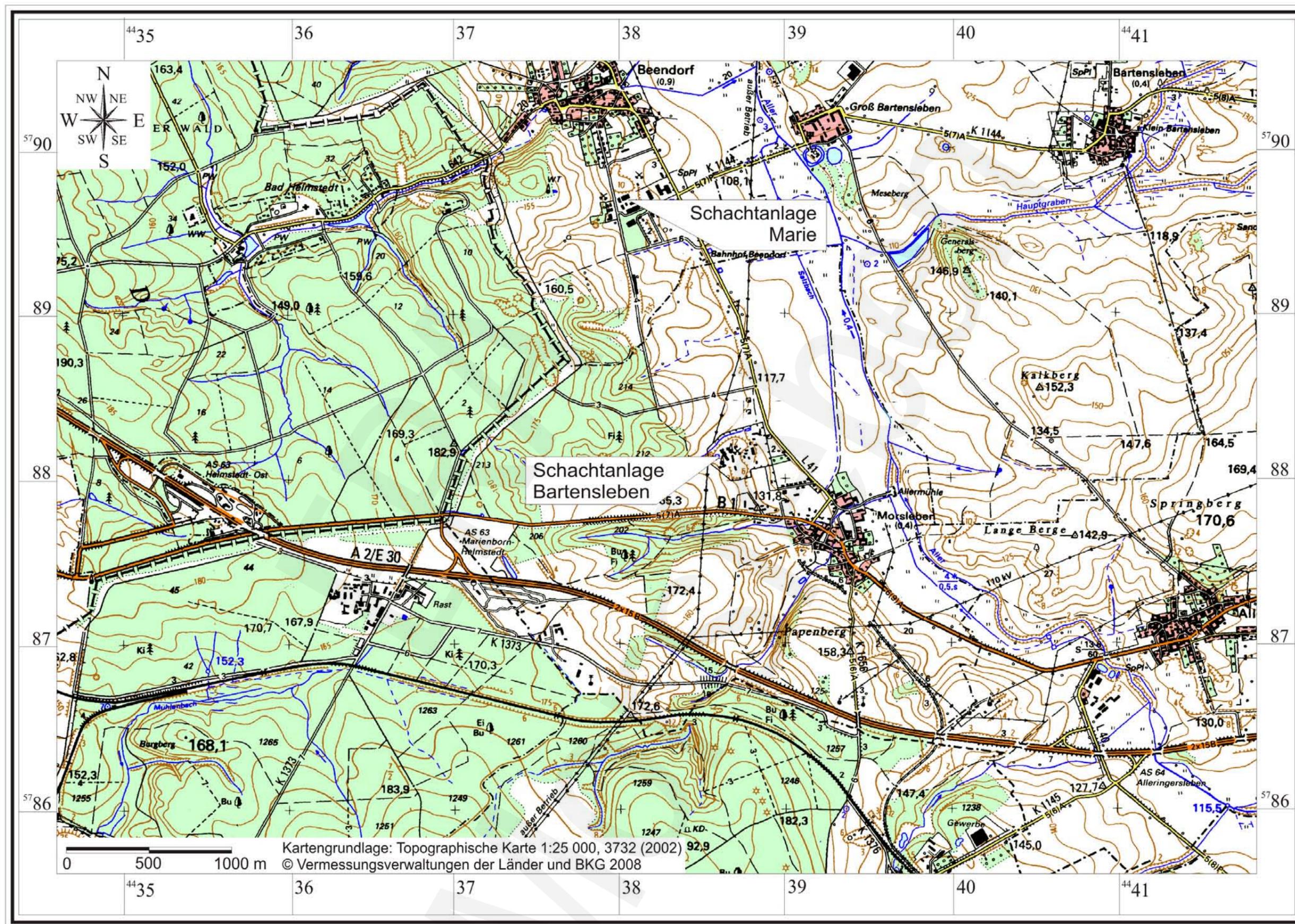
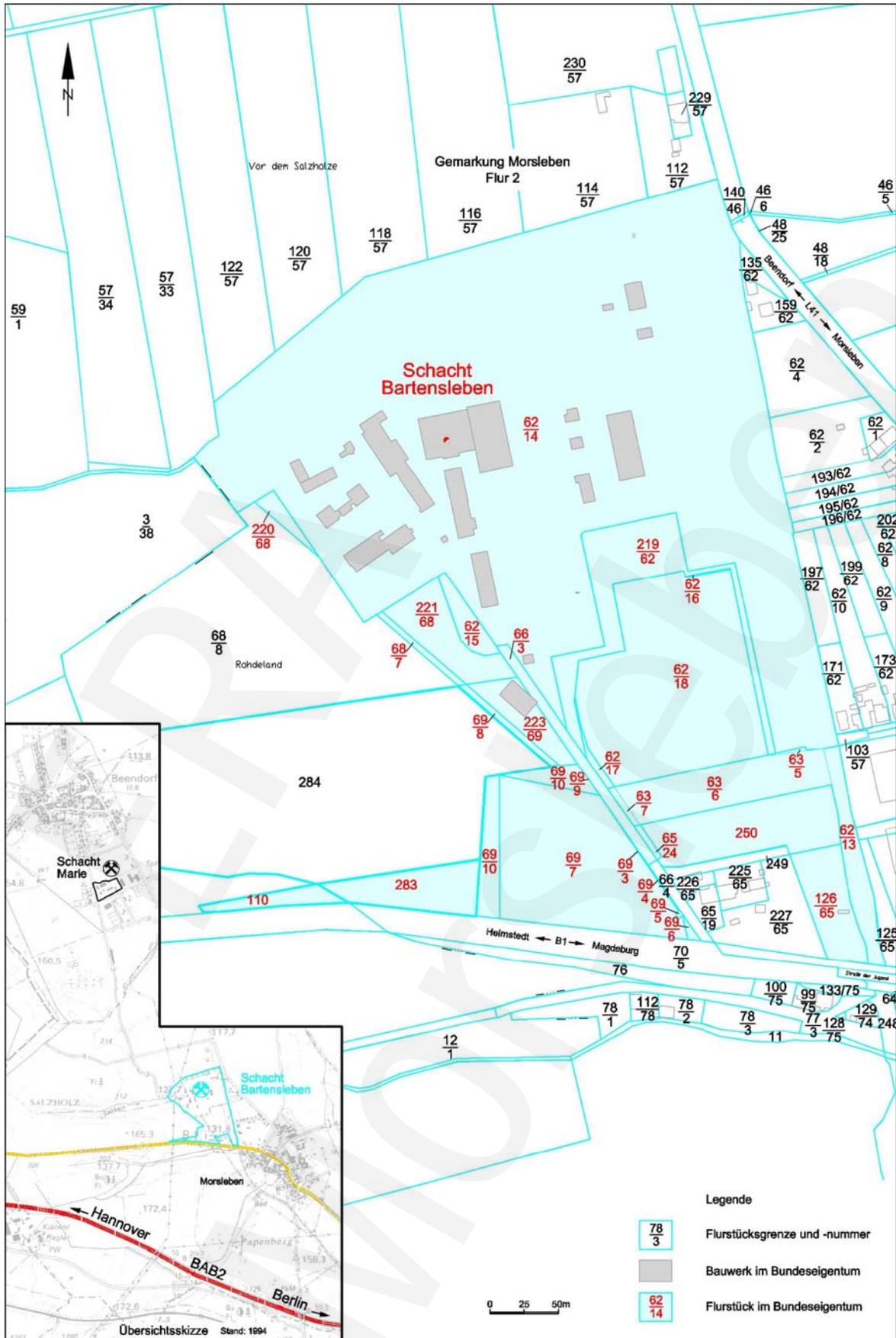
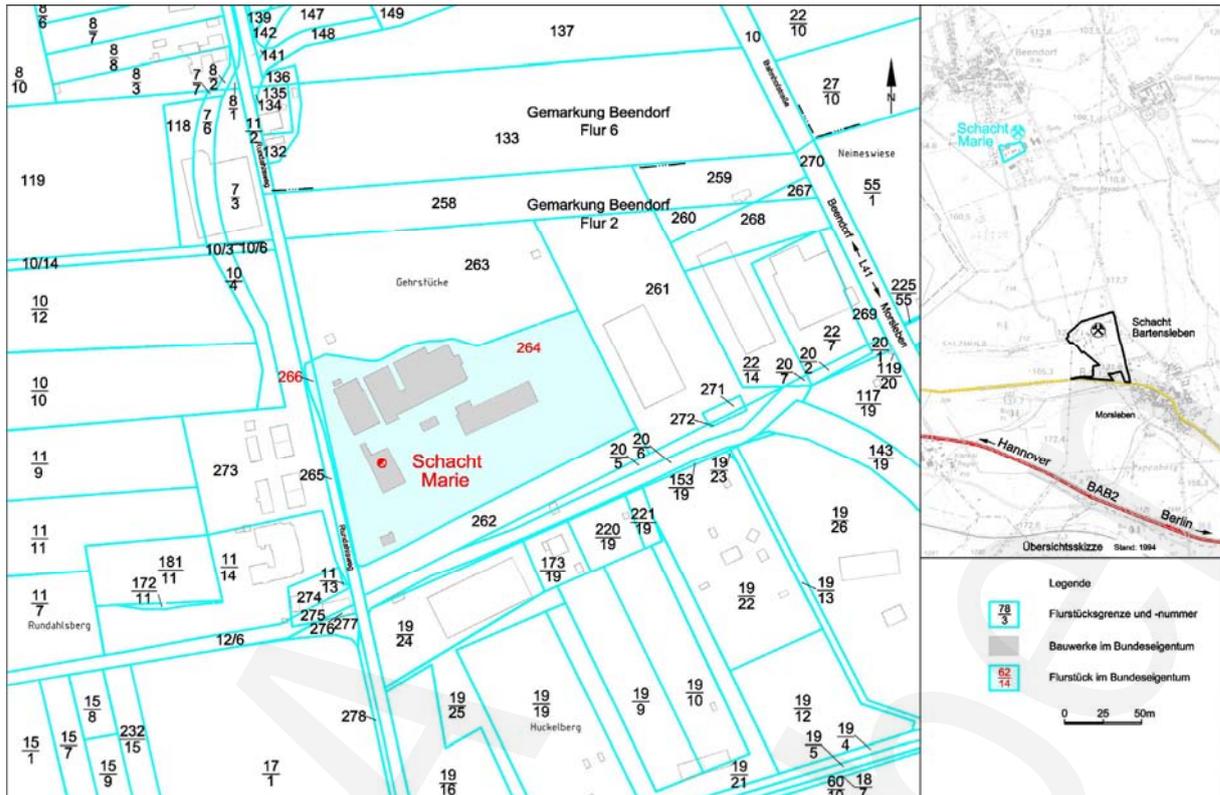


Abb. 1.1-3: Topographische Karte mit markierten Standorten der Schachanlage Bartensleben und der Schachanlage Marie.



Mit Erlaubnis des LVermGeo (Landesamtes für Vermessung u. Geoinformation) Sachsen-Anhalt Erlaubnisnummer: LVermGeo/A9-40154-2009-14 vom 28.08.2009.

Abb. 1.1-4: Katasterplan Schachtanlage Bartensleben.



Mit Erlaubnis des LVermGeo (Landesamtes für Vermessung u. Geoinformation) Sachsen-Anhalt Erlaubnisnummer: LVermGeo/A9-40154-2009-14 vom 28.08.2009.

Abb. 1.1-5: Katasterplan Schachtanlage Marie.

Tab. 1.1-3: Liegenschaftsrechtliche Zuordnung der Flurstücke im Bundeseigentum im Bereich der Schachtanlagen Bartensleben und Marie.

Schachtanlage	Gemarkung	Flur	Flurstücke
Bartensleben	Morsleben	2	62/13, 62/14, 62/15, 62/16, 62/17, 62/18, 63/5, 63/6, 63/7, 65/24, 66/3, 68/7, 69/3, 69/4, 69/5, 69/6, 69/7, 69/8, 69/9, 69/10, 126/65, 219/62, 220/68, 221/68, 223/69, 250, 283
Bartensleben	Morsleben	1	110
Marie	Beendorf	2	264, 266

1.1.3 Besiedlung

Die Bevölkerungsdichte im 10-km-Bereich um das ERAM liegt mit 117 Einwohnern/km² (bei Berücksichtigung der Gesamtbevölkerung und -fläche der im 10-km-Bereich um das ERAM liegenden Gemeinden, einschließlich gegebenenfalls außerhalb dieses Bereiches wohnender Bevölkerungsanteile bzw. gelegener Flächenanteile) deutlich unter dem Durchschnittswert für die Bundesrepublik Deutschland (230 Einwohner/km²; Stand: 31.12.2007). Ohne Berücksichtigung der Stadt Helmstedt liegt die Bevölkerungsdichte im 10-km-Bereich um das ERAM bei ca. 76 Einwohnern/km². Der Anteil von Sachsen-Anhalt am 10-km-Bereich um das ERAM hat eine deutlich geringere Bevölkerungsdichte als der niedersächsische Teil.

In Tab. 1.1-4 ist die Einwohnerzahl der Städte mit mehr als 100.000 Einwohnern in einem 50-km-Umkreis um das ERAM verzeichnet.

Tab. 1.1-4: Großstädte im 50-km-Bereich um das ERAM (Stand: 31.12.2007).

Stadt	Entfernung zum ERAM	Einwohner
Braunschweig	ca. 40 km	245.810
Magdeburg	ca. 40 km	230.140
Salzgitter	ca. 50 km	105.320 ¹⁾
Wolfsburg	ca. 30 km	120.009

¹⁾ Einschließlich der außerhalb des 50-km-Bereiches wohnenden Bevölkerungsanteile (ca. 20.000 Einwohner der Stadt Salzgitter entfallen auf die Fläche innerhalb eines 50-km-Radius)

© Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt, Halle (Saale), 2008; © Landesbetrieb für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen, Hannover 2008

Eine Aufstellung der innerhalb eines Radius von 10 km (10-km-Bereich) um das ERAM gelegenen Gemeinden und Gemeindeteile mit Einteilung in Entfernungsbereiche zum Standort und Angabe ihrer Einwohnerzahl enthält Tab. 1.1-5.

Tab. 1.1-5: Verwaltungsgliederung und Bevölkerung im 10-km-Bereich um das ERAM (Stand: 31.12.2007).

Gliederung	Verwaltungs- einheit und Gemeinde ¹⁾	Entfernung der Ortsmitte zum ERAM ²⁾ in km (B: Bartensleben) (M: Marie)	Bevölkerung im Entfernungs- bereich 0-1 km ³⁾	Bevölkerung im Entfernungs- bereich 1-5 km ³⁾	Bevölkerung im Entfernungs- bereich 5-10 km ³⁾	Fläche ⁴⁾ in km ²	Bevölkerungs- dichte Ew/km ² ⁵⁾
1.	Land Sachsen-Anhalt						118
1.1	Landkreis Börde						78
1.1.1	Verwaltungsgemeinschaft Flechtingen						45
	Alleringersleben	3 (B)		434		5,70	76
	Bartensleben	3 (M)		340		16,41	21
	Beendorf	0,7 (M)	962			6,83	141
	Behnsdorf	9,5 (M)			651	13,86	47
	Bregenstedt	9 (B)			552	6,46	85
	Eimersleben	7 (B)			407	11,84	40
	Erxleben	9,5 (B)			1.289	32,40	40
	Eschenrode	5,5 (M)			167	4,24	39
	Hödingen	7,5 (M)			275	9,18	30
	Hörsingen	6,5 (M)			625	8,65	72
	Ivenrode	10 (M)			482	10,55	46
	Morsleben	1 (B)	349			6,28	56
	Ostingersleben	5 (B)		265		7,46	36
	Schwanefeld	3 (M)		290		5,42	54
	Siestedt	9 (M)			575	14,91	39
	Walbeck	5 (M)		799		14,61	55
	Weferlingen, Flecken	9 (M)			2.256	16,94	133
1.1.2	Verwaltungsgemeinschaft Obere Aller						79
	Harbke	5,5 (B)			1.813	18,92	96
	Marienborn	3 (B)		506		9,98	51
	Sommersdorf	6,5 (B)			1.085	19,33	55
	Ummendorf	9 (B)			1.039	15,68	66
	Völpke	9,5 (B)			1.558	17,22	90
	Wefensleben	6 (B)			2.074	12,63	164
2.	Land Niedersachsen						167
2.1	Landkreis Helmstedt						142
2.1.1	Helmstedt	5,6 (M)			24.792	46,97	528
	Helmstedt Stadtteil Barmke	10,5 (M)			859	7,22	119
	Helmstedt Stadtteil Emmerstedt	9,0 (M)			2.361	12,93	183
	Bad Helmstedt (Brunnental)	1,7 (M)		186		0,45	413
2.1.2	Samtgemeinde Grasleben						107
	Grasleben	9 (M)			2.517	11,27	223
	Mariental	8,5 (M)			1.076	6,53	165
2.1.3	Büddenstedt	8 (B)			2.976	19,54	152
2.1.4	Gemeindefreies Gebiet Helmstedt					18,56	0
2.1.5	Gemeindefreies Gebiet Mariental					15,81	0
Summe	in den Entfernungsbereichen		1.311	2.820	42.989		
	Gesamtbevölkerung im	1-km- Bereich	1.311				
	Gesamtbevölkerung im	5-km- Bereich		4.131			
	Gesamtbevölkerung im	10-km- Bereich			47.120	404,18	117

¹⁾ Erfasst sind alle Gemeinden mit Siedlungsflächen im 10-km-Bereich sowie die gemeindefreien Gebiete.

²⁾ Entfernung Angabe jeweils bezogen auf den zur Gemeinde nächstgelegenen Schacht des ERAM (Schacht Bartensleben/Morsleben oder Schacht Marie/Beendorf).

³⁾ Ausgewiesen ist die Gesamtbevölkerung der Gemeinde gegebenenfalls einschließlich außerhalb des jeweiligen Entfernungsbereiches wohnender Bevölkerungsanteile.

⁴⁾ Ausgewiesen ist die Gesamtfläche der Gemeinde gegebenenfalls einschließlich außerhalb des 10-km-Radius gelegener Flächenanteile.

⁵⁾ Ew/km² = Einwohner pro Quadratkilometer

© Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt, Halle (Saale), 2008; © Landesbetrieb für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen, Hannover 2008

1.1.4 Böden, Vegetation und Landschaftsnutzung

Im 10-km-Bereich um das ERAM sind Böden aus Festgesteinsverwitterungsmaterial (insbesondere aus Sand-, Kalk- und Tonsteinen) sowie aus eiszeitlichen Ablagerungen vorhanden. Im südlichen Teil dieses Bereiches sind überwiegend hochwertige Böden (Parabraunerden und Schwarzerden) verbreitet. In Hanglagen sind sie örtlich erodiert. Die Böden im nördlichen Teil des 10-km-Bereiches (Braunerden, Pseudogleye, Pelosole) sind generell geringwertiger als diejenigen im südlichen Teil. In den Talniederungen dominieren grundwassergeprägte Böden (Gleye, Pseudogleye).

Die Vegetation und Landschaftsnutzung im 10-km-Bereich um das ERAM sind geprägt durch

- den nordwestlich-südöstlich verlaufenden, fast vollständig bewaldeten Höhenzug des Lappwaldes,
- die in gleicher Richtung verlaufende, überwiegend landwirtschaftlich genutzte Talau der Aller und
- das sowohl bewaldete als auch landwirtschaftlich genutzte Weferlingen-Erxlebener Plateau.

Mit Ausnahme der Stadt Helmstedt und des südlich von ihr gelegenen Braunkohlentagebaugesbietes ist das Gebiet im 10-km-Bereich um das ERAM ländlich geprägt. Es wird überwiegend landwirtschaftlich und untergeordnet forstwirtschaftlich genutzt (Tab. 1.1-6).

Der Standort des ERAM liegt innerhalb des Landschaftsschutzgebietes Harbke-Allertal. Dieses ausgedehnte Landschaftsschutzgebiet umfasst die in Sachsen-Anhalt gelegenen Teile des Lappwaldes sowie große Bereiche des oberen Allertales und Bereiche des Weferlingen-Erxlebener Plateaus. Auf niedersächsischem Gebiet grenzt hieran das Landschaftsschutzgebiet Lappwald, als Teil des Naturparkes Elm-Lappwald. Flächenmäßig kleinere Naturschutzgebiete liegen nordwestlich von Beendorf (Bachtäler des Lappwaldes sowie Naturschutzgebiet Lappwald) und nördlich von Bartensleben (Naturschutzgebiet Bartenslebener Forst). Im 10-km-Bereich um das ERAM liegen zusätzlich das Naturschutzgebiet Rehm, das Landschaftsschutzgebiet St. Annenberg mit Lübbensteinen, Heidberg und angrenzenden Landschaftsteilen sowie Anteile des Landschaftsschutzgebietes Flechtinger Höhenzug. Diese und weitere Gebiete zum Schutz von Natur und Landschaft innerhalb des 10-km-Bereiches um das ERAM sind in Abb. 1.1-6 und Tab. 1.1-7 dargestellt.

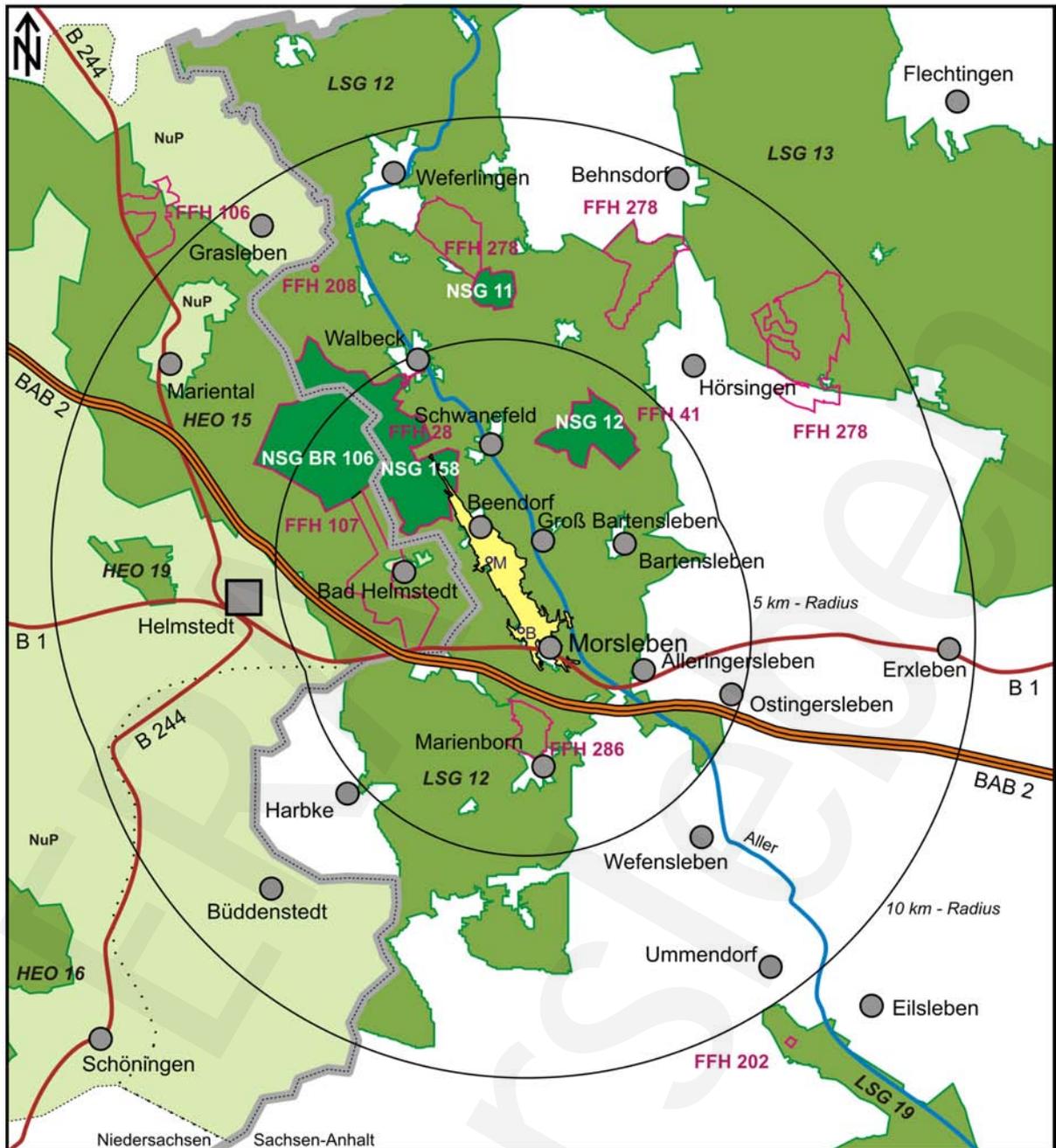
Tab. 1.1-6: Flächennutzung im 10-km-Bereich um das ERAM (Stand: 31.12.2007).

Gemeinde bzw. Gemeindefreies Gebiet (GG) ¹⁾	Katasterflächen nach Art der tatsächlichen Nutzung in Hektar, Flächenangabe 0 bedeutet Fläche unter 0,5 Hektar vorhanden								
	Bodenfläche gesamt	Landwirtschaftsfläche	Waldfläche	Gebäude und Freifläche	Verkehrsfläche	Betriebsfläche	Wasserfläche	Erholungsfläche	Flächen anderer Nutzung
Landkreis Börde									
Alleringersleben	570	437	42	29	39	1	5	16	1
Bartensleben	1.641	946	599	21	47	1	14	12	1
Beendorf	683	260	352	33	18	3	2	15	0
Behnsdorf	1.386	870	399	44	49	4	5	11	2
Bregenstedt	646	565	3	27	23	-	4	24	1
Eimersleben	1.184	1.012	57	29	53	1	18	13	1
Erleben	3.240	1.645	1.371	70	95	15	11	30	1
Eschenrode	424	383	9	11	14	1	4	3	0
Harbke	1.892	445	883	91	97	323	10	42	1
Hödingen	918	507	341	18	33	10	4	5	0
Hörsingen	865	743	35	38	33	-	6	9	2
Ivenrode	1.055	562	410	24	39	-	6	13	1
Marienborn	998	530	378	27	45	-	3	15	1
Morsleben	628	336	192	40	49	-	5	6	0
Ostingersleben	746	650	20	22	43	0	4	7	1
Schwanefeld	542	422	75	16	19	1	4	5	0
Siestedt	1.491	1.293	79	50	45	-	7	17	1
Sommersdorf	1.933	1.436	303	52	64	9	26	40	1
Ummendorf	1.568	1.396	25	46	55	5	16	23	1
Völpke	1.722	1.407	77	87	73	32	8	37	2
Walbeck	1.461	596	604	53	46	125	15	20	2
Wefensleben	1.263	1.003	74	70	59	7	9	37	3
Flecken Weferlingen	1.694	779	617	106	75	51	15	49	3
Landkreis Helmstedt									
Büddenstedt	1.954	937	433	266	82	153	30	24	31
Grasleben	1.127	738	111	135	64	44	14	15	6
Mariental	653	465	70	50	40	1	19	8	1
GG Mariental	1.581	7	1.533	0	36	-	1	3	0
Stadt Helmstedt	4.697	2.507	276	695	469	271	58	147	274
GG Helmstedt	1.856	7	1.787	1	58	-	4	0	-
Gesamtfläche in ha	40.418	22.884	11.155	2.151	1.862	1.058	327	646	338

¹⁾ Erfasst sind alle Gemeinden mit Siedlungsflächen sowie die gemeindefreien Gebiete im 10-km-Bereich einschließlich ihrer außerhalb des 10-km-Radius gelegenen Flächenanteile.

© Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt, Halle (Saale), 2008

© Landesbetrieb für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen, Hannover 2008



- | | | | |
|---|--|---|-----------------------------|
|  | FFH: FFH-Gebiet
(FFH: Fauna-Flora-Habitat) |  | Landesgrenze |
|  | NSG: Naturschutz-Gebiet |  | Grubengebäude ERA Morsleben |
|  | LSG: Landschaftsschutz-Gebiet |  | Schacht |
|  | NuP: Naturpark Elm-Lappwald
mit Erweiterung | M | Marie |
| | | B | Bartensleben |

Abb. 1.1-6: Gebiete zum Schutz von Natur und Landschaft im Bereich des ERAM (genaue Bezeichnungen siehe Tab. 1.1-7).

Tab. 1.1-7: Naturpark (NuP), Natur- und Landschaftsschutzgebiete (NSG, LSG) sowie FFH-Gebiete (FFH: Fauna-Flora-Habitat) im Bereich des ERAM in Niedersachsen und Sachsen-Anhalt.

Bundesland/ FFH- Kennung	Standort/Name	Schutz- status	Gebiets-Nr.	Entfernung zum ERAM*
Nieder- sachsen				
	Elm-Lappwald	NuP	-	M: 0,7 km
	Lappwald	LSG	HEO 15	M: 0,7 km
	Elm	LSG	HEO 16	B: 12 km
	St. Annenberg mit Lübbensteinen, Heidberg und angrenzende Land- schaftsteile	LSG	HEO 19	M: 7,1 km
	Lappwald	NSG	NSG BR 106	M: 3,2 km
DE-3631-331	Pfeifengraswiesen und Binnensalzstelle bei Grasleben	FFH	FFH 106	M: 10,8 km
DE-3732-303	Wälder und Pfeifengraswiesen im südlichen Lappwald	FFH	FFH 107	M: 1,5 km
Sachsen- Anhalt				
	Harbke-Allertal	LSG	LSG 0012	**
	Flechtinger Höhenzug	LSG	LSG 0013	M: 7,3 km
	Hohes Holz, Saures Holz mit östli- chem Vorland	LSG	LSG 0019	B: 10,2 km
	Rehm	NSG	NSG 0011	M: 5,7 km
	Bartenslebener Forst	NSG	NSG 0012	M: 2,9 km
	Bachtäler des Lappwaldes	NSG	NSG 0158	M: 1,3 km
DE-3732-301	Lappwald südwestlich Walbeck	FFH	FFH 0028	M: 1,3 km
DE-3732-302	Bartenslebener Forst im Aller- Hügelland	FFH	FFH 0041	M: 2,9 km
DE-3732-304	Zisterne Weferlingen	FFH	FFH 0208	M: 7,6 km
DE-3732-305	Marienborn	FFH	FFH 0286	B: 1,5 km
DE-3733-301	Wälder am Flechtinger Höhenzug	FFH	FFH 0278	M: 5,7 km
DE-3833-301	Salzstelle Wormsdorf	FFH	FFH 0202	B: 11 km

* Angegeben ist die minimale Entfernung der Schutzgebietsgrenze zum jeweils näher gelegenen Schacht (M: Marie, B: Bartensleben).

** Das Betriebsgelände der Schachtanlagen Bartensleben und Marie liegt innerhalb des LSG Nr. 12.

1.1.5 Gewässer und Wassernutzung

Das Betriebsgelände der Schachtanlagen Bartensleben und Marie liegt im Einzugsgebiet der oberen Aller. Die Aller weist im Bereich des ERAM ein mittleres Fließgefälle von ca. 0,2 % auf. Messungen der Wasserstände am Pegel bei Alleringersleben, der näherungsweise auch das Abflussverhalten der Aller im Bereich des ERAM widerspiegelt, erbrachten für die Jahre von 1995 bis 2004 folgende Werte (in cm):

mittlerer Niedrigwasserstand (MNW):	13
Mittelwasserstand (MW):	28
mittlerer Hochwasserstand (MHW):	88

Folgende Abflüsse (in m³/s) wurden am Pegel Alleringersleben in den Jahren 1971 bis 2004 ermittelt:

mittleres Niedrigwasser (MNQ):	0,081
Mittelwasser (MQ):	0,423
mittleres Hochwasser (MHQ):	3,01

Der im Bereich des ERAM (Pegel Alleringersleben) überhaupt bekannte höchste Wert des Abflusses (höchstes Hochwasser; HHQ) der Aller wurde am 18.03.1970 ermittelt und betrug 11,5 m³/s. Der überhaupt bekannte niedrigste Wert des Abflusses (niedrigstes Niedrigwasser; NNQ) betrug 0,02 m³/s; dieser Wert wurde öfters gemessen. Der maximale Wert des Wasserstandes (höchster Hochwasserstand; HHW) betrug 184 cm und wurde am 16.07.1956 gemessen. Der niedrigste Wert des Wasserstandes (niedrigster Niedrigwasserstand; NNW) wurde mit 4 cm am 04.10.1992 gemessen.

Der Mittelwasserstand der Aller liegt im Bereich des Schachtes Bartensleben bei ca. +110 m NN und im Bereich des Schachtes Marie bei ca. +105 m NN. Der bisher gemessene maximale Wert des Wasserstandes der Aller im Bereich des ERAM lag damit mehr als 20 m unterhalb des Ansatzpunktes des Schachtes Bartensleben sowie des Ansatzpunktes des Schachtes Marie und auch unterhalb des Anlagen geländes dieser beiden Schachtanlagen.

Die Wasserscheide wird auf der südwestlichen Seite der Aller von der „Kammlage“ des Lappwaldes und auf der nordöstlichen Seite von der „Kammlage“ des Weferlingen-Erlebener Plateaus gebildet. In den Höhenzug des Lappwaldes und in das Weferlingen-Erlebener Plateau haben sich zahlreiche Bäche eingeschnitten, die in die Aller münden.

Die zum Standort des ERAM nächstgelegene Wasserförderanlage liegt bei Beendorf (ca. 0,5 km westnordwestlich der Schachtanlage Marie). Sie förderte im Jahr 2007 ca. 5.000 m³ Wasser. Früher gab es eine Trinkwassergewinnungsanlage (Wasser-

werk Helmstedt) bei Bad Helmstedt, ca. 2 km westlich der Schachanlage Marie. Diese wurde im März 2003 stillgelegt.

Die Aller und ihre Zuflüsse werden zur Wasserentnahme für landwirtschaftliche Produktionsstätten (Beregnung von landwirtschaftlich genutzten Flächen) genutzt.

Im Bereich des ERAM wird die Aller für die Sportfischerei genutzt, ebenso wie der Teich und der Stauweiher bei Groß Bartensleben. Die Gewässer werden jedoch nicht gewerblich befischt.

1.1.6 Gewerbe- und Industriebetriebe, militärische Anlagen

Das Mittelzentrum Helmstedt ist das einzige größere Wirtschaftszentrum im Umkreis bis zu 10 km des ERAM.

Prägende Wirtschafts- und Erwerbszweige im 10-km-Bereich um das ERAM sind der Bergbau (Raum Helmstedt, Grasleben, Walbeck) und die Energieerzeugung sowie der Energievertrieb (Raum Helmstedt, bzw. Stadt Helmstedt). Auch das ERAM selbst stellt einen bedeutenden Arbeitgeber dar. Ansonsten dominieren Klein- und Mittelbetriebe des verarbeitenden Gewerbes sowie des Handels- und Dienstleistungsgewerbes.

Die nächstgelegene Gasfernleitung (Walbeck–Schwanefeld–Morsleben–Marienborn) führt ca. 400 m östlich des Geländes der Schachanlage Bartensleben und ca. 700 m östlich des Geländes der Schachanlage Marie vorbei. Eine in Ost-West-Richtung verlaufende Gasfernleitung liegt südlich der Gemeinden Walbeck–Eschenrode–Hörsingen, ca. 4 km nördlich der Schachanlage Marie. Ca. 3 km südwestlich der Schachanlage Bartensleben verläuft eine weitere Gasfernleitung (Marienborn–Belsdorf). Ca. 240 m östlich des Schachtes Bartensleben verläuft eine Gas-Hausanschlussleitung. Mineralölfernleitungen verlaufen nicht innerhalb des 10-km-Bereiches um das ERAM.

Im Umkreis von 10 km um das ERAM gibt es keine militärischen Anlagen.

1.1.7 Verkehrswege

Die Schachanlage Bartensleben ist unmittelbar an die Bundesstraße (B) 1 angebunden. Über die B 1 ist die Bundesautobahn (BAB) 2 (Ruhrgebiet–Hannover–Berlin), die ca. 1 km südlich des Geländes der Schachanlage Bartensleben verläuft, direkt zu erreichen. Bis zur nächstgelegenen Anschlussstelle sind es in westlicher Richtung ca. 2,5 km (Anschlussstelle Nr. 63 „Marienborn/Helmstedt-Ost/Morsleben“;

nur Richtungsfahrbahn nach Hannover), bzw. ca. 3,5 km (nur Richtungsfahrbahn nach Berlin) und in östlicher Richtung ca. 3 km (Anschlussstelle Nr. 64 „Alleringersleben/Wefensleben“; an der Landstraße (L) 40).

Die Schachanlage Marie ist über die Gemeindestraßen „Rundahlsweg“ und „Mittelweg“ an die L 41 (Morsleben–Beendorf) angebunden. Die L 41 verläuft östlich der Schachanlage Marie in ca. 100 m Entfernung und mündet in Morsleben in die B 1.

Die Eisenbahnstrecke Hannover–Braunschweig–Helmstedt–Eilsleben–Magdeburg führt in einer Entfernung von ca. 1,5 km südlich des Geländes der Schachanlage Bartensleben vorbei. Der an dieser Eisenbahnstrecke gelegene Bahnhof Marienborn liegt ca. 3 km südsüdöstlich der Schachanlage Bartensleben. Die Strecke wird durch Reise- und Güterzüge stark frequentiert. Die Eisenbahnstrecke Hannover–Wolfsburg–Berlin (ICE) führt in einer Entfernung von etwa 17 km nordöstlich am ERAM vorbei.

Die zum ERAM nächstgelegene Wasserstraße ist der Mittellandkanal, der in einer Entfernung von ca. 20 km nordöstlich des ERAM vorbeiführt. In einem Entfernungsbereich von 20 km bis 25 km liegen die Häfen Calvörde, Bülstringen und Haldensleben. Die Aller ist im Bereich des Standortes des ERAM nicht schiffbar.

Innerhalb des 10-km-Bereiches um das ERAM liegt kein Flughafen. Der zum ERAM nächstgelegene Flughafen befindet sich in Braunschweig. Er liegt in ca. 40 km Entfernung in westnordwestlicher Richtung. Der am nächsten zum Standort gelegene Landeplatz befindet sich bei Oschersleben, ca. 20 km entfernt in südsüdöstlicher Richtung. Auf diesem Sonderlandeplatz dürfen Flugzeuge bis 2.000 kg und Hubschrauber bis 6.000 kg starten und landen.

Flugplätze im Umkreis von 50 km um den Standort des ERAM befinden sich bei folgenden Orten:

a) Verkehrsflughäfen

- Regionalflughafen Braunschweig-Wolfsburg (ca. 40 km),
- Regionalflughafen Magdeburg-Cochstedt (ca. 50 km).

b) Landeplätze

- Sonderlandeplatz Oschersleben (ca. 20 km),
- Verkehrslandeplatz Magdeburg (ca. 40 km),
- Sonderlandeplatz Gardelegen (ca. 40 km),
- Verkehrslandeplatz Salzgitter-Drütte (ca. 50 km),

- Hubschrauberlandeplatz „Kreiskrankenhaus Helmstedt“ (ca. 6 km von Schacht Marie und ca. 7 km von Schacht Bartensleben entfernt),
- Hubschrauberlandeplatz „Quelle“ Haldensleben (ca. 20 km),
- Hubschrauberlandeplatz „Bauer-Verlag“ Barleben (ca. 30 km)
- Hubschrauberlandeplatz „Stadtkrankenhaus“ Wolfsburg (ca. 30 km),
- Hubschrauberlandeplatz „Universitätsklinik“ Magdeburg (ca. 40 km),
- Hubschrauberlandeplatz der Polizeistaffel „Flugplatz Süd“ Magdeburg (ca. 40 km),
- Hubschrauberlandeplatz „wfw Graphische Betriebe“ Hornburg (ca. 40 km),
- Hubschrauberlandeplatz „Städtisches Krankenhaus“ Wolfenbüttel (ca. 40 km),
- Hubschrauberlandeplatz der Bundespolizei Gifhorn (ca. 50 km).

c) Segelfluggelände

- „Rote Wiese“ bei Helmstedt (ca. 7 km von Schacht Marie und ca. 8 km von Schacht Bartensleben entfernt),
- „Große Wiese“ bei Wolfenbüttel (ca. 40 km),
- „Bernsteinsee“ bei Stüde (ca. 50 km).

Militärische Flugplätze sind im 50-km-Bereich um das ERAM nicht vorhanden.

Durch den 50-km-Umkreis um das ERAM verlaufen mehrere Luftverkehrsstraßen. Über Morsleben führt eine Nachttiefflugstrecke für militärische Strahlflugzeuge mit einer Mindestflughöhe von 600 m (2.000 ft) über Grund.

1.1.8 Meteorologische Verhältnisse

Der Standort des ERAM liegt am Rande der Norddeutschen Tiefebene, deren Klima überwiegend durch atlantische Tiefdruckgebiete beeinflusst wird.

Seit Februar 1995 wird auf dem Gelände des ERAM eine meteorologische Messstation betrieben. Es werden die Messgrößen Windrichtung und Windgeschwindigkeit (in 25 m Höhe) sowie Niederschlagsmenge, Strahlungsbilanz, Lufttemperatur, relative Luftfeuchte und Luftdruck erfasst.

Die für den Zeitraum Februar 1995 bis Dezember 2007 mit dieser Messstation erhaltene Windrichtungsverteilung (Windrose) zeigt die Abb. 1.1-7.

Am Standort des ERAM treten Winde aus westlichen Richtungen (West-südwest bis West-nordwest) am häufigsten auf. Daneben gibt es ein sekundäres Maximum bei Winden aus südöstlichen Richtungen (Ost-südost und Süd-südost). Die Windrichtungsverteilungen sind für die Norddeutsche Tiefebene typisch. Eine mögliche Beeinflussung durch eine Leitwirkung des Allertales und des Lappwaldes ist nicht erkennbar. Ebenso sind von Seiten der Oberflächenbeschaffenheit und der Orographie her keine Besonderheiten der vertikalen Windprofile gegeben.

Der Mittelwert der am Standort des ERAM gemessenen Windgeschwindigkeiten liegt bei 3,5 m/s. Wie allgemein für Norddeutschland gültig, treten auch am Standort des ERAM überdurchschnittliche Windgeschwindigkeiten bei Winden aus West bis Nordwest und niedrigere Windgeschwindigkeiten bei Ost- bis Südostwinden auf.

In Abb. 1.1-8 ist die relative Häufigkeit des Niederschlags in Abhängigkeit von der Windrichtung am Standort des ERAM für den Zeitraum Februar 1995 bis Dezember 2007 dargestellt.

Die Niederschlagsverhältnisse sind dadurch gekennzeichnet, dass die höchsten jährlichen Niederschlagsmengen bei westlichen Winden, also bei den am häufigsten vorkommenden Windrichtungen, auftreten.

Die mittlere jährliche Niederschlagsmenge am Standort des ERAM in Höhe von 561 mm ist etwas geringer als der langjährige Mittelwert von 608 mm (DWD-Statistik für die Jahre 1961 bis 1990) für das benachbarte Helmstedt. Das lässt sich mit der Lage des ERAM im Regenschatten des Lappwaldes erklären.

Für den Standort des ERAM wurden mittlere Lufttemperaturen von 18,0°C im Juli und von 0,6°C im Januar gemessen. Die Messwerte der meteorologischen Station des ERAM für den Zeitraum Februar 1995 bis Dezember 2007 sind in Tab. 1.1-8 aufgeführt:

Tab. 1.1-8: Mittlere Lufttemperatur an der meteorologischen Station des ERAM für die Jahre 1995 bis 2007.

Jahr	Januar	Juli	Jahresmittel	Jahr	Januar	Juli	Jahresmittel
1995	1)	20,1 °C	9,8 °C	2002	2,2 °C	17,5 °C	9,5 °C
1996	-4,8 °C	15,8 °C	7,0 °C	2003	0,3 °C	19,2 °C	9,4 °C
1997	-2,6 °C	17,6 °C	9,1 °C	2004	0,2 °C	16,5 °C	9,4 °C
1998	3,7 °C	16,2 °C	9,5 °C	2005	3,3 °C	17,9 °C	9,4 °C
1999	3,7 °C	19,3 °C	10,0 °C	2006	-2,6 °C	22,3 °C	10,2 °C
2000	2,1 °C	15,4 °C	10,2 °C	2007	5,4 °C	17,6 °C	10,0 °C
2001	0,9 °C	18,6 °C	9,2 °C	Mittel	1,0 °C	18,0 °C	9,4 °C

1) Für Januar 1995 liegt kein Messwert vor, weil die Station erst im Februar 1995 in Betrieb gegangen ist.

Angaben über die meteorologischen Verhältnisse am Standort des ERAM werden zur rechnerischen Ermittlung der radiologischen Auswirkungen infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern benötigt. Die Ergebnisse dieser Rechnungen sind im Kapitel 4.1.1 wiedergegeben. In diesem Kapitel ist auch eine Windrichtungsverteilung am Schacht Marie für den Zeitraum Februar 1995 bis Dezember 2000 abgebildet, die das Ergebnis einer rechnerischen Übertragung der Messwerte von Schacht Bartensleben unter Berücksichtigung der orographischen Parameter auf Schacht Marie darstellt.

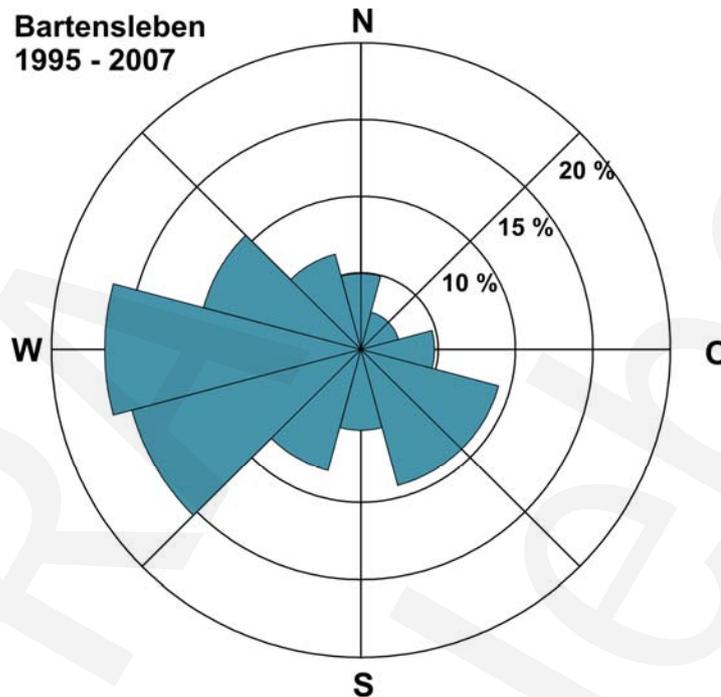


Abb. 1.1-7: Windrichtungsverteilung für die Schachtanlage Bartensleben (relative Häufigkeit der Windrichtung in % bezogen auf 30-Grad-Sektoren) für den Zeitraum Februar 1995 bis Dezember 2007.

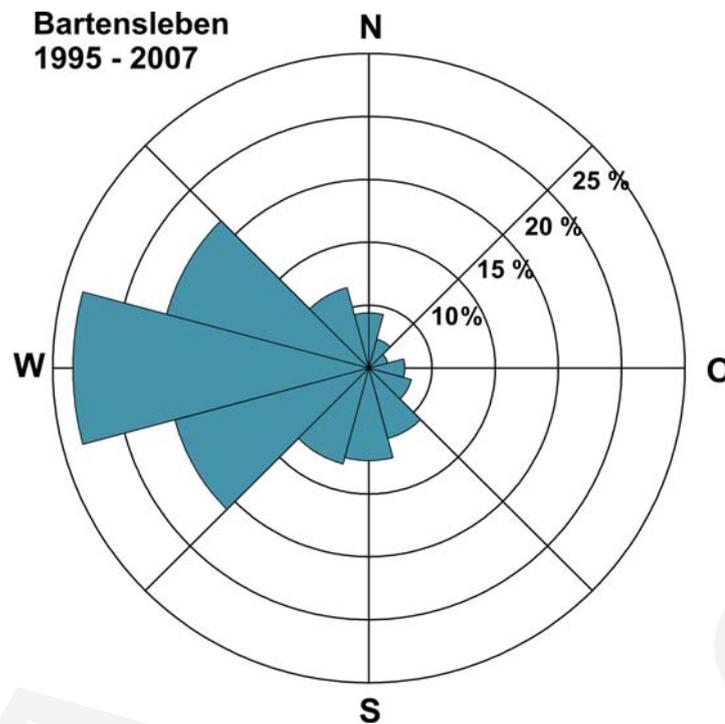


Abb. 1.1-8: Niederschlagsverteilung für die Schachtanlage Bartensleben (relative Häufigkeit des Niederschlags in Abhängigkeit von der Windrichtung in % bezogen auf 30-Grad-Sektoren) für den Zeitraum Februar 1995 bis Dezember 2007.

1.2 RADIOLOGISCHE GEGEBENHEITEN

Bei der Beschreibung der radiologischen Gegebenheiten am Standort des ERAM ist zwischen der radiologischen Grundbelastung und der radiologischen Vorbelastung gemäß § 47 Abs. 5 StrlSchV zu unterscheiden. Die radiologische Grundbelastung ergibt sich aus der natürlichen Radioaktivität und ionisierender Strahlung sowie dem Anteil der durch anthropogene Arbeiten und Tätigkeiten außerhalb des Geltungsbereiches des AtG verursachten Radioaktivität. Zur radiologischen Vorbelastung gemäß § 47 Abs. 5 StrlSchV gehören Ableitungen radioaktiver Stoffe aus dem Betrieb anderer Anlagen oder Einrichtungen oder früherer Tätigkeiten im Geltungsbereich des AtG sowie der StrlSchV, die am Standort des ERAM zur Strahlenexposition beitragen.

Sowohl die Höhe der Grundbelastung als auch die mit dem Betrieb und der Offenhaltung des ERAM verbundene Strahlenexposition werden mit Betreibermessprogrammen, die auf der Grundlage der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI), Teil C.2 „Endlager für radioaktive Abfälle“ erstellt wurden, überwacht. Diese Messprogramme weichen aufgrund von Anforderungen aus der Dauerbetriebsgenehmigung geringfügig von der REI ab.

Die Messprogramme des Betreibers umfassen die Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft und dem Abwasser (Emissionsüberwachung) und die Überwachung der Umgebung des ERAM im bestimmungsgemäßen Betrieb und im Störfall/Unfall (Immissionsüberwachung). Ein ergänzendes und kontrollierendes Messprogramm zur Überwachung der Umgebung des ERAM wird vom Landesamt für Umweltschutz des Landes Sachsen-Anhalt als unabhängige Messstelle durchgeführt.

1.2.1 Radiologische Grundbelastung

Die radiologische Grundbelastung wird vornehmlich durch natürlich vorkommende Radionuklide und die kosmische Strahlung verursacht. Sie ist von den geologischen Standortbedingungen und der Höhenlage abhängig und wird darüber hinaus durch meteorologische Prozesse beeinflusst.

Der zweite, ebenso vom Standort abhängige Anteil der radiologischen Grundbelastung durch künstliche Radionuklide wird durch den Fallout der oberirdischen Kernwaffenversuche und durch Emittenten außerhalb des Geltungsbereiches des AtG, vor allem durch den Reaktorunfall in Tschernobyl 1986, verursacht.

Die Grundbelastung wird vom Betreiber und der unabhängigen Messstelle an Referenzmessstellen und -probennahmeorten ermittelt. Die Referenzmessstellen und -probennahmeorte des Betreibers liegen ca. 4 km südöstlich des Schachtes Bartensleben am Ortsrand von Alleringersleben und die der unabhängigen Messstelle ca. 5 km nördlich des Schachtes Bartensleben am nördlichen Ortsrand von Schwanefeld. Aufgrund ihrer Entfernung zu den Schächten Bartensleben und Marie bleiben die Referenzorte weitgehend unbeaufschlagt von Emissionen des ERAM. Die Referenzprobennahmeorte des Betreibers für Oberflächenwasser liegen im Salzbach bei Eintritt in das Betriebsgelände und in der Aller vor Einmündung des Salzbachs. Von der unabhängigen Messstelle ist gemäß REI das Sediment in Oberflächengewässern zu überwachen. Die entsprechende Referenzmessstelle liegt in der Aller bei Belsdorf oberhalb der Einleitstellen aus dem Bereich des ERAM.

An den Referenzmessstellen und -entnahmeorten werden vom Betreiber und/oder der unabhängigen Messstelle gemäß den Anforderungen der REI folgende Umweltbereiche und Medien überwacht:

Luft:

- Gamma-Strahlung: Messung der Gamma-Ortsdosis mittels Festkörperdosimetern (jährliche Auswertung) und Messung der Gamma-Ortsdosisleistung (Messung jeweils beim jährlichen Wechsel der Festkörperdosimeter).
- Aerosole: Ermittlung der Aktivitätskonzentration von Einzelnucliden mittels Gamma-Spektrometrie (vierteljährliche Auswertung einer Mischprobe aus

maximal 14-tägig beaufschlagten Filtern) und Ermittlung der Aktivitätskonzentration von Beta-Strahlern durch Gesamt-Beta-Messung (monatliche Auswertung einer Mischprobe).

Niederschlag (Deposition):

- Gammaskopimetrische Bestimmung der Aktivitätskonzentration von Einzelnucliden und der Gesamt-Beta-Aktivitätskonzentration im Niederschlag (monatliche Auswertung). Aus den Aktivitätskonzentrationen und dem monatlichen Niederschlag wird die monatliche Radionukliddeposition pro m² ermittelt.

Boden:

- Gammaskopimetrische Bestimmung der spezifischen Aktivität von Einzelnucliden einschließlich Pb-210, Bestimmung der spezifischen Sr-90-Aktivität und Bestimmung der spezifischen Aktivität von Beta-Strahlern durch Gesamt-Beta-Messung (jeweils zwei Stichproben pro Jahr).

Pflanzen / Bewuchs / Futtermittel (Gras):

- Gammaskopimetrische Bestimmung der spezifischen Aktivität von Einzelnucliden, Bestimmung der spezifischen Aktivität von Beta-Strahlern durch Gesamt-Beta-Messung und Bestimmung der spezifischen H-3- und C-14-Aktivität (jeweils zwei Stichproben pro Jahr).

Wasser (Oberflächenwasser von Aller und Salzbach):

- Bestimmung der Aktivitätskonzentration von Einzelnucliden mittels Gamma-Spektrometrie und Bestimmung der H-3-Aktivitätskonzentration (jeweils vierteljährliche Auswertung einer Mischprobe aus wöchentlicher bis 14-tägiger Stichprobe) und Bestimmung der Gesamt-Beta-Aktivitätskonzentration (monatliche Auswertung einer Stichprobe).

Sediment:

- Gammaskopimetrische Bestimmung der spezifischen Aktivität von Einzelnucliden (jährliche Stichprobe).

Die Überwachung des Grundwassers obliegt gemäß der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen der unabhängigen Messstelle. Hierzu entnimmt die unabhängige Messstelle vierteljährlich Grundwasserproben aus einem Brunnen in Morsleben (nächstgelegener Brunnen in Grundwasserhauptfließrichtung und damit ungünstigste Einwirkungsstelle). Die Ergebnisse werden im Kapitel 1.2.2 (radiologische Vorbelastung) beschrieben.

In der Tab. 1.2-1 sind die Wertebereiche von Messergebnissen des Betreibers und des sachsen-anhaltinischen Landesamtes für Umweltschutz als der unabhängigen Messstelle aus dem Zeitraum 1999 bis 2006 dargestellt.

Tab. 1.2-1: Grundbelastung am Standort des ERAM und seiner näheren Umgebung (Werte der Jahre 1999 bis 2006).

Radionuklid	Luft ¹⁾ in mBq/m ³	Niederschlag (Deposition) ²⁾ in Bq/m ²	Boden in Bq/kg	Bewuchs (Gras) in Bq/kg *	Wasser / Sediment (Oberflächenwasser) in Bq/l bzw. Bq/kg
H-3				0,7 - 2,6 (TM) < 0,7 (FM)	< 6
Be-7	2,0 - 5,7	8,4 - 65	< 2,2 - 2,2	30 - 270 (TM) 9,9 - 180 (FM)	4,8 - 37 ***
C-14				74 - 170 (TM) 49 - 65 (FM)	
K-40	< 0,09 - 0,12	< 9 - 19	425 - 680	650 - 1.100 (TM) 160 - 280 (FM)	<0,1 - 0,76 (Salzbach) 0,18 - 0,32 (Aller) 360 - 510 (Aller) ***
Co-60	< 0,002	< 0,4	< 0,2	< 0,3 (TM) < 0,4 (FM)	< 0,006 < 0,3 ***
Sr-90			0,2 - 0,67		
J-131					0,7 - 1,6 ***
Cs-137	< 0,002	< 0,7	7,5 - 17	< 0,5 - 6,8 (TM) < 0,4 (FM)	< 0,006 3,8 - 6,9 ***
Pb-210 **	0,16 - 0,54		20 - 50	6,9 - 66 (TM) 7,4 - 16 (FM)	3,8 - 45 ***
Gesamt-Beta	0,24 - 1,4	1,1 - 31	630 - 720	930 - 1.600 (TM) 220 - 260 (FM)	0,15 - 0,53 (Salzbach) 0,28 - 0,57 (Aller)

* Messwerte bis zum Jahr 2005 bezogen auf die Trockenmasse (TM) und ab 2006 bezogen auf die Frischmasse (FM)

** Pb-210 natürlichen Ursprungs sowie als Folgeprodukt des natürlichen Rn-222

*** Sediment (Trockenmasse)

¹⁾ Monats- oder Quartalsmittelwerte

²⁾ Monatswerte der pro Flächeneinheit deponierten Aktivität

Hinsichtlich der Grundbelastung ergibt sich folgendes Bild: Die Aktivitätskonzentrationen und spezifischen Aktivitäten der in Tab. 1.2-1 dargestellten natürlichen und künstlichen Radionuklide variieren in den jeweiligen Umweltmedien innerhalb des für Deutschland oder des Landes Sachsen-Anhalt üblichen Bereichs.

Die leicht erhöhten Werte des natürlich vorkommenden K-40 im Bewuchs (Gras) sind für Sachsen-Anhalt nicht untypisch. Das Landesamt für Umweltschutz in Halle hat in

den vergangenen Jahren Weidegrasproben aus verschiedenen Landesteilen analysiert. Die mittlere spezifische K-40-Aktivität der Grasproben betrug 955 Bq/kg Trockenmasse (TM), was mit den im Bereich des ERAM gemessenen Werten übereinstimmt. K-40 ist ein natürliches, sehr langlebiges Radionuklid, das bereits mit der Erdmaterie entstanden ist (sogenanntes primordiales Radionuklid). Es ist zu 0,0118 % im Kalium enthalten und daher in der Umwelt weit verbreitet. Die spezifische K-40-Aktivität im Bewuchs korreliert mit dem Kaliumgehalt der Pflanze, der wiederum vom Kaliumgehalt des Bodens abhängig ist. Die leicht erhöhten K-40-Werte im Bewuchs sind daher das Ergebnis der natürlichen Beschaffenheit des Bodens im Umfeld des ERAM.

Die mittlere spezifische Aktivität von K-40 in Böden Sachsen-Anhalts wird vom Landesamt für Umweltschutz im Strahlenschutzbericht 2005 mit 338 Bq/kg angegeben. Am Standort des ERAM ist der K-40-Gehalt im Referenzboden etwas höher, liegt aber noch innerhalb des für Böden in Deutschland üblichen Variationsbereichs von 40 Bq/kg (TM) bis > 1.000 Bq/kg (TM).

Be-7 entsteht in der Stratosphäre durch Reaktion der kosmischen Partikelstrahlung mit Gasatomen der Lufthülle. Die für Be-7 in der Luft am Standort des ERAM gefundenen Konzentrationen liegen im Variationsbereich der von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt am Standort Braunschweig gemessenen langjährigen mittleren monatlichen Be-7-Aktivitätskonzentration von 1 mBq/m³ bis 7 mBq/m³. Auch die mit dem Niederschlag deponierte Be-7-Aktivität pro Flächeneinheit und Monat liegt am Standort des ERAM innerhalb des für die gesamte Bundesrepublik typischen Variationsbereichs von 10 Bq/m² bis 100 Bq/m².

Das im Boden und Bewuchs messbare Cs-137 stammt überwiegend aus dem Reaktorunfall in Tschernobyl und teilweise noch aus dem Fallout der Kernwaffentests Mitte des letzten Jahrhunderts. Die Grundbelastung durch Cs-137 in den Böden am Standort des ERAM liegt im unteren Bereich der für Böden in Sachsen-Anhalt gemessenen Variation von 5 Bq/kg bis 480 Bq/kg. Im Umweltbericht des Landesamtes für Umweltschutz wird die mittlere spezifische Cs-137-Aktivität in den sachsen-anhaltinischen Böden mit 36 Bq/kg angegeben. Im Weidegras wurden vom Landesamt für Umweltschutz in den Jahren 2000 bis 2004 mittlere spezifische Cs-137-Aktivitäten von 1,3 Bq/kg (TM) bis 3,2 Bq/kg (TM) gemessen, was mit den Untergrundwerten im Bewuchs am Standort des ERAM ebenfalls übereinstimmt.

Die Grundbelastung der Böden mit Sr-90 stammt zum überwiegenden Teil noch aus den oberirdischen Kernwaffentests. Für die Böden in Sachsen-Anhalt wurde vom Landesamt für Umweltschutz im Zeitraum 2000 bis 2004 eine mittlere spezifische Sr-90-Aktivität von 0,88 Bq/kg gemessen. Die Grundbelastung im Boden am Standort des ERAM liegt unter diesem Wert.

Co-60 konnte am Standort des ERAM in keinem Umweltmedium nachgewiesen werden.

Die Grundbelastung durch Pb-210 im Boden, Bewuchs und Sediment liegt am Standort des ERAM im unteren Teil des für diese Medien typischen Variationsbereichs. Die Pb-210-Aktivitätskonzentration in der Luft entspricht Werten, die von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt an der Bodenluftmessstelle Braunschweig gemessen wurden (im Jahr 2006 z. B. Monatsmittelwerte von 0,20 mBq/m³ bis 1,2 mBq/m³ Pb-210).

Die Gesamt-Beta-Aktivität in der Luft der Bundesrepublik Deutschland betrug laut Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz im Jahr 2004 im Mittel 0,5 mBq/m³ und im Jahr 2005 im Mittel 0,7 mBq/m³. Diese Werte stimmen mit den Messwerten der Grundbelastung für die Gesamt-Beta-Aktivität am Standort des ERAM überein.

Die Grundbelastung durch terrestrische und atmosphärische Strahlung betrug in den Jahren 2001 bis 2006 am Standort des ERAM 0,63 mSv bis 0,71 mSv (Mittelwert 0,67 mSv; gemessen als Umgebungs-Äquivalentdosis über 365 Tage an der Referenzmessstelle nahe Alleringersleben), was einer mittleren Gamma-Ortsdosisleistung von ca. 76 nSv/h entspricht. Die Ortsdosisleistung der terrestrischen und atmosphärischen Gamma-Strahlung wurde vom Bundesamt für Strahlenschutz in den östlichen Bundesländern in den Jahren 1994 bis 1996 flächendeckend im Raster von 4 km x 4 km ermittelt. Dabei ergaben sich für das Gebiet des Landkreises Börde einschließlich der Stadt Magdeburg Gamma-Ortsdosisleistungen von ca. 60 nSv/h bis 130 nSv/h. Für Norddeutschland insgesamt sind Werte der Gamma-Ortsdosisleistung zwischen 60 nSv/h und 105 nSv/h typisch. Die Grundbelastung am Standort des ERAM unterscheidet sich damit nicht von der Grundbelastung in Norddeutschland und im übrigen Bereich des Landkreises Börde.

1.2.2 Radiologische Vorbelastung

Im Umkreis um den Standort sind keine weiteren 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 Maße den Standort des ERAM erreichen könnten. Eine radiologische Vorbelastung gemäß § 47 Abs. 5 StrlSchV durch Emittenten außerhalb des ERAM liegt nicht vor.

Die radiologische Vorbelastung durch den Einlagerungs- und Offenhaltungsbetrieb des ERAM ist zu Beginn des Stilllegungsbetriebes im übertägigen Bereich wie folgt zu charakterisieren:

Da im ERAM keine radioaktiven Abfälle zur Endlagerung mehr angenommen werden, entfällt die Notwendigkeit für die Aufrechterhaltung des übertägigen Kontrollbereichs. Der übertägige Kontrollbereich wird daher vor Beginn des Stilllegungsbetriebes zurückgebaut. Die erforderlichen Maßnahmen sind im „Plan für die

Umrüstung und den Offenhaltungsbetrieb des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben“ beschrieben. Die radiologische Situation im übertägigen Kontrollbereich ist derzeit bis auf wenige Ausnahmen, wie z. B. der speziellen Kanalisation, durch Kontaminationsfreiheit und das Nichtvorhandensein von Strahlungsfeldern gekennzeichnet. Die vorhandenen Kontaminationen werden im Rahmen der Umrüstung für den Offenhaltungsbetrieb vollständig beseitigt. Nach dem Rückbau des Kontrollbereichs werden im übertägigen Bereich keine Aktivitäten oberhalb der Werte der Tabelle 1 Anlage III StrlSchV mehr vorhanden sein. Die Kontaminationsfreiheit der übertägigen Anlagen und Flächen wird im Rahmen eines Freigabeverfahrens nach § 29 StrlSchV nachgewiesen und dokumentiert. Es ist damit gewährleistet, dass bei Aufnahme des Stilllegungsbetriebes im übertägigen Betriebsflächenbereich des ERAM keine radiologischen Vorbelastungen mehr vorhanden sind.

Die aus dem Einlagerungs- und Offenhaltungsbetrieb resultierende radiologische Vorbelastung in der Umgebung des ERAM wird mit Emissions- und Immissionsmessprogrammen auf der Basis der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI), Teil C.2 „Endlager für radioaktive Abfälle“, überwacht. Ziel des Emissionsmessprogramms ist dabei die Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft und dem Abwasser. Zu diesem Zweck ist im Bereich des Schachtes Bartensleben ein Probennahme- und Messsystem installiert, mit dem die Abluft kontinuierlich erfasst wird. Die Überwachung erstreckt sich auf die radioaktiven Gase H-3 und C-14-Verbindungen (Messung durch Flüssigszintillations-Spektrometrie mit monatlicher Auswertung) sowie Rn-222 (Messung nach dem AERD-Verfahren, kontinuierliche Auswertung) und radioaktive Aerosole (kontinuierliche Anreicherung auf Festfiltern mit monatlicher Bilanzierung der Aktivitätskonzentration von Alpha- und Beta-Strahlern, der spezifischen Sr-90-Aktivität und der durch Gamma-Spektrometrie ermittelten Aktivitätskonzentration von Einzelnukliden).

Die Kontaminationsfreiheit der konventionellen Abwässer wird durch zyklische Probennahmen mit wöchentlicher Ausmessung des Dusch- und Waschwassers der Personenschleuse, durch monatliche Probennahmen und Messungen des Schachtwassers Bartensleben und durch wöchentliche Stichproben und Messungen des Schachtwassers Marie beweissichernd geprüft. Potenziell kontaminierte Betriebswässer werden im ERAM in Behältern gesammelt und nach erfolgter Freimessung und Bilanzierung über die konventionelle Kanalisation entsorgt. Die Beweisicherungs- und Entscheidungsmessungen umfassen die gammaspectrometrische Bestimmung der Aktivitätskonzentration langlebiger Nuklide, die Bestimmung der Gesamt-Beta-Aktivitätskonzentration und die Bestimmung der H-3-Aktivitätskonzentration. In Tab. 1.2-2 ist dargestellt, welche Volumina und Aktivitäten in den Jahren 2001 bis 2006 mit der Abluft und dem Abwasser aus dem ERAM abgeleitet wurden.

Tab. 1.2-2: Ableitungen aus dem ERAM mit Abluft und Abwasser in den Jahren 2001 bis 2006 (Jahressummenwerte).

Parameter	Abluft (Kamin)	Abwasser (Übergabebehälter)
Volumen	$(8,6 - 9,4) \cdot 10^8 \text{ m}^3$	$3,7 - 8,5 \text{ m}^3$
	abgeleitete Aktivität in Bq	abgeleitete Aktivität in Bq
Gesamt-Alpha	$(0,7 - 1,2) \cdot 10^5$	---
Gesamt-Beta	$(0,8 - 1,7) \cdot 10^6$	$(0,3 - 3,6) \cdot 10^4$
H-3	$(1,2 - 4,9) \cdot 10^{10}$	$(0,13 - 4,0) \cdot 10^5$
C-14	$(0,6 - 1,7) \cdot 10^9$	---
Rn-222 (EEC)*	$(0,3 - 1,2) \cdot 10^{10}$	---
Pb-210**	$(0,9 - 1,6) \cdot 10^6$	---
Co-60***	$2,7 \cdot 10^3$	$(3,2 - 6,4) \cdot 10^1$
Cs-137	$(0,32 - 2,0) \cdot 10^4$	$(0,12 - 3,0) \cdot 10^3$

* Gleichgewichtsäquivalente Rn-222-Konzentration; einschließlich Rn-222 natürlicher Herkunft, auch aus Frischwetterern

** Einschließlich Pb-210 natürlicher Herkunft, auch aus Frischwetterern

*** Co-60 wurde in der Abluft nur im Jahr 2001 nachgewiesen.

Im Rahmen des Immissionsmessprogramms werden die Umweltmedien Luft (Gamma-Strahlung, Aerosole), nasser Niederschlag (Deposition), Boden, Bewuchs (Gras) und Wasser/Sediment (Oberflächenwasser von Aller und Salzbach, Sedimente der Aller) überwacht. Die Immissionsmessstellen und -probennahmeorte liegen im Bereich der ungünstigsten Einwirkungsstelle des Schachtes Bartensleben. Diese befindet sich für Messungen des Betreibers ca. 150 m nordöstlich des Schachtes Bartensleben auf dem Betriebsgelände und für Messungen der unabhängigen Messstelle ca. 50 m östlich des Anlagenzaunes außerhalb des Betriebs-

geländes. Der Aerosolsammler der unabhängigen Messstelle steht auf dem Gelände des ERAM im Bereich der ungünstigsten Einwirkungsstelle. Die Probennahmeorte (Immissionsmessstellen) des Betreibers für das Oberflächenwasser liegen im Bereich des Salzbachs nach Austritt aus dem Betriebsgelände, im Bereich der Aller nach Zufluss des Salzbachs und der gereinigten Wässer aus der kommunalen Kläranlage sowie der Aller im Bereich der Ortschaft Walbeck. Von der unabhängigen Messstelle wird das Sediment der Aller nahe der Ortschaft Schwanefeld unterhalb der Einleitungen aus den Gruben Bartensleben und Marie überwacht. Die unabhängige Messstelle kontrolliert außerdem, wie bereits im Kapitel 1.2.1 dargestellt, die Qualität des Grundwassers im nächstgelegenen Brunnen in Morsleben.

Die Gamma-Ortsdosis und Gamma-Ortsdosisleistung wird vom Betreiber an insgesamt 40 Orten gemessen. Davon liegen 16 Messorte am Anlagenzaun des Betriebsgeländes Bartensleben, zwölf Messstellen im Umkreis von ca. 250 m um den Schacht Bartensleben und zwölf Messstellen im Umkreis von ca. 750 m bis 1.000 m um den Schacht Bartensleben. Die unabhängige Messstelle überwacht die Gamma-Ortsdosis mit zwölf Dosimetern am Anlagenzaun.

Das Probennahme- und Messprogramm an den Immissionsmessstellen entspricht dem in Kapitel 1.2.1 dargestellten Probennahme- und Messprogramm an den Referenzmessstellen. Abweichend davon werden die Dosimeter am Anlagenzaun häufiger (halbjährlich) gewechselt und ausgewertet. Das Grundwasser im nächstgelegenen Brunnen wird vierteljährlich beprobt und gammaspektrometrisch auf Einzelnuclide sowie H-3 untersucht.

Tab. 1.2-3 zeigt die Messwerte der Immissionsüberwachung des Betreibers und der unabhängigen Messstelle im Zeitraum 1999 bis 2006. Beim Vergleich dieser Daten mit den Werten der Grundbelastung in Tab. 1.2-2 wird deutlich, dass sich die Messwerte kaum unterscheiden. Die Messwerte der Jahre 1999 bis 2006 an den ungünstigsten Einwirkungsstellen und sonstigen Immissionsmessstellen entsprechen den an den Referenzmessstellen ermittelten Werten der Grundbelastung. Abweichungen hiervon zeigen lediglich die Messwerte für K-40 und der damit verknüpften Gesamt-Beta-Aktivität im Oberflächenwasser des Salzbachs, die bei Eintritt in das Betriebsgelände des ERAM deutlich niedriger sind als nach dem Austritt aus dem Betriebsgelände. Dieser Anstieg der K-40-Aktivitätskonzentration im Salzbach ist mit einem deutlichen Anstieg der Salzkonzentration im Bereich des Betriebsgeländes verknüpft und hat mehrere Ursachen. Zum einen befinden sich im nördlichen Teil der Schachanlage Bartensleben mehrere Quellbereiche, die dem Salzbach salzhaltiges Quellwasser zuführen. Weiterhin liegt im nördlichen Schachanlagenbereich die ehemalige Teufhalde des Schachtes, deren Sickerwässer in den Salzbach gelangen und außerdem werden die stark mineralisierten Gebirgswässer, die im Bereich des Schachtes Bartensleben anfallen, über den Salzbach an die Aller abgegeben (im langjährigen Mittel ca. 3.000 m³/a). K-40 ist als natürliches Radionuklid in nahezu allen Umweltmedien und auch im menschlichen Körper enthalten. Mineralwasser enthält in Abhängigkeit vom Kaliumgehalt etwa 0,03 Bq/l bis 16 Bq/l K-40 und Meerwasser im Mittel ca. 11,8 Bq/l

bis 12,3 Bq/l K-40. Die Erhöhung der K-40-Werte im Salzbach um maximal ca. 7 Bq/l durch die Quellschüttungen und Schachtwässer ist somit signifikant, aber radiologisch unbedeutend. Im Bereich der Aller werden die K-40-Einträge aus dem Salzbach rasch verdünnt und sind bereits nach kurzer Fließstrecke nicht mehr nachweisbar.

Tab. 1.2-3: Messwerte der Umgebungsüberwachung am Standort des ERAM (Werte der Jahre 1999 bis 2006).

natürliche Radionuklide	Luft ¹⁾ in mBq/m ³	Niederschlag (Deposition) ²⁾ in Bq/m ²	Boden in Bq/kg	Bewuchs (Gras) in Bq/kg *	Wasser / Sediment (Oberflächenwasser) in Bq/l bzw. Bq/kg
H-3				0,85 - 2,4 (TM) < 0,7 (FM)	< 6
Be-7	0,87 - 6,0	4,5 - 200	< 1,5 - 2,2	7,5 - 390(TM) 8,8 - 72 (FM)	3,6 - 21 ***
C-14				88 - 160 (TM) 55 - 64 (FM)	
K-40	< 0,09 - 3,3	< 10 - 5,4	360 - 480	310 - 1.400 (TM) 20 - 250 (FM)	2,3 - 7,5 (Salzbach) 0,18 - 0,49 (Aller) 410 - 520 (Aller) ***
Co-60	< 0,002	< 0,4	< 0,1	< 0,3 (TM) < 0,5 (FM)	< 0,007 < 0,3 ***
Sr-90			0,2 - 1,0		
J-131					1,4 *** (1 Wert)
Cs-137	< 0,002 - 0,0063	< 0,7	2,8 - 9,6	< 0,2 - 1,1 (TM) < 0,5 (FM)	< 0,007 2,7 - 8,5 ***
Pb-210 **	0,16 - 0,88		15 - 38	6,9 - 60 (TM) < 12 (FM)	19 - 42 ***
Gesamt-Beta	0,29 - 1,4	1,8 - 22	560 - 570	520 - 1.200 (TM) 270 - 330 (FM)	2,7 - 9,6 (Salzbach) 0,34 - 0,74 (Aller)

* Messwerte bis zum Jahr 2005 bezogen auf die Trockenmasse (TM) und ab 2006 bezogen auf die Frischmasse (FM)

** Pb-210 natürlichen Ursprungs sowie als Folgeprodukt des natürlichen Rn-222 und des Rn-222 aus dem ERAM

*** Sediment (Trockenmasse)

1) Monats- oder Quartalsmittelwerte

2) Monatswerte der pro Flächeneinheit deponierten Aktivität

Die im Rahmen der Umgebungsüberwachung gemessene Gamma-Ortsdosis betrug in den Jahren 1999 bis 2006 am Anlagenzaun (16 Messorte des Betreibers und zwölf Messorte der unabhängigen Messstelle) 0,63 mSv bis 1,5 mSv (Mittelwert 0,84 mSv) und im weiteren Umkreis bis 1.000 m um den Schacht Bartensleben 0,33 mSv bis 0,91 mSv (Mittelwert 0,59 mSv). Die Gamma-Ortsdosisleistung beträgt damit am Anlagenzaun im Mittel ca. 96 nSv/h und im weiteren Umkreis ca. 67 nSv/h. Die gegenüber dem weiteren Umfeld leicht erhöhte Gamma-Ortsdosisleistung am Anlagenzaun resultiert aus Beiträgen von Baumaterialien am Befestigungsort der Dosimeter (Einfluss von Beton- und Ziegelwänden). Die einzelnen Messorte zeigen dabei über die Jahre 1999 bis 2006 keine signifikanten Veränderungen.

Die Messergebnisse der Gamma-Ortsdosis und Gamma-Ortsdosisleistung in der Umgebung des ERAM liegen im Bereich der für den Standort des ERAM ermittelten Grundbelastung (Kapitel 1.2.1). Beiträge des Endlagers zur Gamma-Ortsdosis und -Ortsdosisleistung in der Umgebung der Anlage sind somit nicht nachweisbar.

Weitere Hinweise zur Kontaminationsfreiheit der Böden im Umfeld des ERAM ergeben sich aus Messungen des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt als unabhängige Messstelle. Das Landesamt hat im 2. Halbjahr 1993 die Zerfallsprodukte Pb-214/Bi-214 (Zerfallsprodukte von Ra-226) und Pb-212/Bi-212 (Zerfallsprodukte von Th-228 bzw. Ra-228) in Böden aus dem Umkreis des ERAM analysiert. Die Messwerte liegen innerhalb des für Böden in Sachsen-Anhalt typischen Variationsbereichs (Tab. 1.2-4) und liefern keine Hinweise auf Radionuklideinträge aus dem Bereich des ERAM.

Tab. 1.2-4: Spezifische Aktivitäten natürlicher Radionuklide in Bodenproben aus dem Bereich des ERAM und Vergleichsproben aus Sachsen-Anhalt.

Radionuklide	Bodenproben ERAM in Bq/kg (TM)*	Bodenproben Sachsen-Anhalt in Bq/kg (TM)*
Pb-214 / Bi-214 (Zerfallsprodukte von Ra-226 aus der U-238-Zerfallsreihe)	13 - 25	17 - 64 **
Pb-212 / Bi-212 (Zerfallsprodukte von Th-228 bzw. Ra-228 aus der Th-232-Zerfallsreihe)	18 - 32	5 - 50 ***

* Trockenmasse

** bezogen auf das Mutternuklid Ra-226

*** bezogen auf das Mutternuklid Ra-228

Insgesamt ist in der Umgebung des ERAM bisher keine Erhöhung der Radioaktivitätswerte gegenüber der Grundbelastung feststellbar, wenn man von der geringfügigen und radiologisch unbedeutenden Erhöhung der K-40-Werte im Salzbach absieht. Diese radiologische Situation wird sich durch den Offen-

haltungsbetrieb bis zum Beginn des Stilllegungsbetriebes nicht nachteilig verändern, da im Bereich des ERAM keine radioaktiven Abfälle mehr angenommen werden und die durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern in die Umgebung mögliche Strahlenexposition weit unterhalb der Grenzwerte des § 47 StrlSchV liegt. Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft für das Jahr 2006 ermittelte Wert der effektiven Dosis betrug für Erwachsene 0,0001 mSv, für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) 0,0004 mSv und für mit Muttermilch ernährte Säuglinge 0,001 mSv. Dies sind 0,05 %, 0,14 % bzw. 0,4 % des Grenzwertes der StrlSchV. Die Dosis für das rote Knochenmark als das am stärksten belastete Organ betrug 0,0003 mSv für Erwachsene, 0,001 mSv für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) und 0,0035 mSv für mit Muttermilch ernährte Säuglinge, entsprechend ca. 0,1 %, 0,4 % und 1,2 % des Grenzwertes der StrlSchV. Der für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser ermittelte Wert der effektiven Dosis lag im Jahr 2006 für Erwachsene, mit Muttermilch ernährte Säuglinge und Kleinkinder unter 0,0001 mSv. Die Ableitung langlebiger Aerosole führt infolge der atmosphärischen Ausbreitung zu keiner messbaren Kontamination in der Umgebung. Ebenso bewirken die mit den Abwettern und Abwässern abgeleiteten radioaktiven Stoffe H-3 und C-14 keine messbare Aktivitätserhöhung in der Umgebung. Durch die Ableitung von Rn-222 und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten erhöht sich der natürliche Radonpegel an der ungünstigsten Einwirkungsstelle lediglich um Werte im Promillebereich. Der Anteil des aus dem ERAM abgeleiteten Pb-210 an der gesamten spezifischen Pb-210-Aktivität in der Umgebung wurde durch Ausbreitungsrechnungen auf der Grundlage der AVV zu § 47 StrlSchV bestimmt. Die Ergebnisse belegen, dass die konservativ berechneten Werte an der ungünstigsten Einwirkungsstelle im Boden um etwa fünf Größenordnungen (Faktor 100.000) kleiner sind als die in Tab. 1.2-1 dargestellten tatsächlich gemessenen Werte. Die gemessene spezifische Pb-210-Aktivität stammt also fast ausschließlich aus natürlichen Quellen außerhalb des ERAM.

Insgesamt wird somit zu Beginn des Stilllegungsbetriebes weder im Bereich der Betriebsfläche des ERAM noch in dessen Umgebung eine radiologische Vorbelastung aus dem Betrieb und der Offenhaltung des ERAM vorhanden sein, die bei der Ermittlung der Strahlenexposition in der Stilllegungsphase zu berücksichtigen wäre. Die radiologischen Verhältnisse im bestimmungsgemäßen Stilllegungsbetrieb werden im Kapitel 4.1 beschrieben und bewertet.

1.3 GEOLOGISCHE GEGEBENHEITEN

1.3.1 Geologische Barrieren

Bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefliegenden geologischen Formationen werden national und international in Endlagerprojekten Mehrbarrierenkonzepte verfolgt. Dabei stützt sich der Nachweis der Langzeitsicherheit eines Endlagers auf die Gesamtheit der verschiedenen Barrieren des Endlagersystems (Mehrbarrierensystem) mit seinen aufeinander abgestimmten Einzelkomponenten. Die Einzelkomponenten können verschiedene technische Barrieren (z. B. Abfallprodukt, Abfallverpackung), geotechnische Barrieren (z. B. Versatz, Abdichtungsbauwerke) und geologische Barrieren (z. B. Wirtsgestein, Nebengebirge/Deckgebirge) umfassen. Je nach Endlagerkonzept können eine oder mehrere Barrieren wirksam sein. Entsprechend den 1983 im Bundesanzeiger, Jahrgang 35, Nr. 2, vom 05.01.1983 veröffentlichten „Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk“ muss durch einzelne oder die Summe dieser Barrieren der sichere Abschluss der eingelagerten radioaktiven Abfälle von der Biosphäre sichergestellt werden. Dabei sind unter dem Begriff Barriere geologische Gegebenheiten oder technische bzw. geotechnische Maßnahmen zur Behinderung oder Verhinderung der Freisetzung von Schadstoffen aus den Abfällen in die Biosphäre zu verstehen.

Die Funktion einer Barriere, nämlich die „Behinderung oder Verhinderung der Freisetzung“ kann zum einen in der Rückhaltung und zum anderen in einer Verzögerung des Übertritts von Schadstoffen in die Biosphäre bestehen. Eine geologische Barriere kann auch beide Funktionen haben, indem sie z. B. durch gute Sorptionseigenschaften eine Schadstoffrückhaltung bewirkt und gleichzeitig aufgrund des durch sie gegebenen Abstandes zwischen Endlager und Biosphäre die Transportzeit verlängert und damit den Übertritt von Radionukliden in die Biosphäre solange verzögert, bis diese aufgrund ihrer Halbwertszeit zerfallen sind.

Auch beim ERAM wirken geologische Barrieren sowohl rückhaltend (transportverhindernd) als auch verzögernd (transportbehindernd). Das ERAM wurde in einem bestehenden Bergwerk eingerichtet, dessen geologische und bergbauliche Gegebenheiten feststehende Randbedingungen für die geplanten Verfüll- und Verschlussmaßnahmen und den Langzeitsicherheitsnachweis setzen.

Der Nachweis der Langzeitsicherheit berücksichtigt daher die gegebenen geologischen Eigenschaften des Standortes, so wie sie vorliegen und in ihrem Zusammenwirken in der Szenarienanalyse untersucht wurden, ohne vorab spezielle Barriereanforderungen an einzelne geologische Schichten zu definieren. Die Langzeitsicherheit des ERAM basiert somit (neben technischen und geotechnischen Barrieren) auf der Summe der rückhaltenden und verzögernden Wirkungen aller geologischen Schichten.

Vor diesem Hintergrund ist in einer standortbezogenen Definition des Begriffes geologische Barriere die Gesamtheit aller zwischen Abfall und Biosphäre befindlichen Gesteine zu nennen.

Die Barrieren zur Gewährleistung der o. g. Anforderung basieren auf den folgenden unterschiedlichen Wirkprinzipien (Sicherheitsfunktionen):

1. Retardation - Verzögerung
2. Retention - Rückhaltung (Isolation)
3. Protektion - Schutz (mechanisch, chemisch)
4. Dispersion - Verdünnung

Ihre Wirkung entfalten diese Sicherheitsfunktionen sowohl innerhalb der Salzstruktur als auch im Deck- und Nebengebirge oder bei technischen bzw. geotechnischen Maßnahmen.

So erfüllen z. B. die Salzgesteine der Salzstruktur aufgrund ihrer Undurchlässigkeit die Funktion der Rückhaltung von Transportmedien (z. B. Salzlösungen, Grundwasser). Die Sicherheitsfunktion der Verzögerung durch Sorptionsprozesse können diese Gesteine aufgrund ihrer mineralogischen Eigenschaften jedoch nicht ausüben. Diese Sicherheitsfunktion wirkt aber bei der potenziellen Ausbreitung von Radionukliden in den Gesteinen des Deckgebirges. Diese Gesteine schützen gleichzeitig (Sicherheitsfunktion der Protektion) auch die Salzgesteine vor chemischen (Auflösung) und mechanischen (Erosion) Auswirkungen geologischer Prozesse in der Zukunft. Potenzielle Schwachstellen in der Isolationswirkung der Salzgesteine aufgrund geringer Mächtigkeit oder aufgrund bergbaulicher Einwirkungen werden im Sicherheitskonzept berücksichtigt und durch technische und geotechnische Maßnahmen (stützender Versatz, Abdichtungsbauwerke) kompensiert. So wird z. B. die Verletzung der geologischen Schutzschicht durch die Schächte durch Schachtverschlüsse im Rahmen der Stilllegung der Anlage ausgeglichen.

Damit wird deutlich, dass der sichere Abschluss der Abfälle von der Biosphäre durch verschiedene Barrieren mit verschiedenen Sicherheitsfunktionen in ihrer Gesamtheit im Sinne eines Mehrbarrierenkonzeptes gewährleistet wird.

Im folgenden Kapitel werden die geologischen Gegebenheiten am Standort dargestellt. Diese definieren einen wichtigen Teil der Randbedingungen für die Stilllegung des ERAM und den Nachweis der Langzeitsicherheit.

1.3.2 Stratigraphie und Lithologie

Das ERAM liegt in der Allertalzone zwischen der Lappwaldscholle im Südwesten und der Weferlinger Triasplatte im Nordosten. Für diesen Bereich werden geologische Schichtenfolge, Strukturgeologie und Tektonik beschrieben. Die Endlagerformation bilden Salzgesteine des Zechstein in der Salzstruktur Allertal.

Die Schichtenfolge im Bereich des ERAM wird vom Liegenden zum Hangenden, also von unten nach oben, beschrieben. Dabei werden für jede Schicht deren räumliche Verbreitung, Aufschlüsse, Gesteinsausbildung und die Gegebenheiten zur Zeit der Ablagerung dargestellt. Die Beschreibung der Schichtenfolge berücksichtigt in ihrem Detaillierungsgrad die Bedeutung der Schichten für das Endlager. Sie beginnt mit dem Mitteldevon. Einen Überblick über die vorkommenden Schichten gibt Tab. 1.3-1. Die Altersangaben vermitteln eine Vorstellung von der Dauer geologischer Zeiträume.

Tab. 1.3-1: Im Bereich des ERAM vorkommende stratigraphische Einheiten.
Zeitangaben nach der Stratigraphischen Tabelle von Deutschland 2002
(STD 2002, Mitteleuropa) der Deutsche Stratigraphischen Kommission.

Stratigraphische Einheiten				Beginn vor ca.	
Känozoikum	Quartär	Holozän		10.000 Jahren	
		Pleistozän		1,8 Mio. Jahren	
	Tertiär	Alttertiär	Oligozän	34 Mio. Jahren	
			Eozän	55 Mio. Jahren	
Paleozän			65 Mio. Jahren		
Mesozoikum	Kreide	Maastricht	Walbecker Schichten	71 Mio. Jahren	
		Campan	Alleringerslebener Schichten	84 Mio. Jahren	
	Jura	Malm		156 Mio. Jahren	
		Dogger		177 Mio. Jahren	
		Lias		200 Mio. Jahren	
	Keuper	Oberer Keuper (Rhät)	Mittlerer Keuper	Steinmergelkeuper	235 Mio. Jahren
				Oberer Gipskeuper	
				Schilfsandstein	
		Unterer Gipskeuper			
		Unterer Keuper			
		Trias	Muschelkalk	Oberer Muschelkalk	
	Mittlerer Muschelkalk				
	Unterer Muschelkalk				
Buntsandstein	Oberer Buntsandstein (Röt)		251 Mio. Jahren		
	Mittlerer Buntsandstein	Solling-Folge			
		Volpriehausen-Folge			
	Unterer Buntsandstein				
Paläozoikum	Perm	Zechstein	Aller-Folge (z4)	258 Mio. Jahren	
			Leine-Folge (z3)		
			Staßfurt-Folge (z2)		
			Werra-Folge (z1)		
		Rotliegend		302 Mio. Jahren	
	Karbon	Namur		327 Mio. Jahren	
		Dinant		358 Mio. Jahren	
	Devon	Oberdevon		381 Mio. Jahren	
Mitteldevon			392 Mio. Jahren		

Devon

Das Mitteldevon besteht aus marinen Tonsteinen mit eingeschalteten Kalksteinen, Radiolariten sowie Phosphoritlagen. Im Oberdevon treten kieselige Tonschiefer und Diabase auf. Die Schichtenfolge ist aus Bohrungen bekannt.

Karbon

Auch im Unterkarbon (Dinant) treten noch kieselige Tonschiefer und Diabase auf. Im höheren Teil des Dinant und im Namur (tieferes Oberkarbon) wurden in einem küstennahen Meer Grauwacken und Tonschiefer sedimentiert. Aufschlüsse finden sich in zahlreichen nicht mehr betriebenen Steinbrüchen im Flechtinger Höhenzug. Dort wurden Bausteine gewonnen.

Im höheren Oberkarbon war der Bereich des ERAM Festland, es wurden keine Sedimente abgelagert.

Perm

Das Perm wird in Rotliegend und Zechstein gegliedert.

Rotliegend

Festländische Ablagerungen des Rotliegend sind im tiefen Untergrund unter dem Allertal verbreitet. In seinem unteren Teil besteht das Rotliegend aus bis 1.000 m mächtigen vulkanischen Gesteinen. Aufgeschlossen sind diese Gesteine in den großen Steinbrüchen bei Dönstedt, Bodendorf und Flechtingen.

Über den vulkanischen Gesteinen folgen etwa 610 m mächtige, rote Sandsteine, Konglomerate und Schluffsteine des Oberrotliegend. Sie wurden bei wüstenhaftem, trockenem Klima abgelagert. Auch sie sind im Untergrund durch Bohrungen nachgewiesen. Im Flechtinger Höhenzug treten sie an die Erdoberfläche.

Das als Flechtinger Bausandstein benannte Rotliegendesediment bildet im Bereich des Allertals einen regionalen Poren- und Kluftspeicher. Es weist jedoch keine Erdgasvorkommen von bergbaulich sicherheitlicher Relevanz auf. Bei einer Erdölbohrung in Ostingersleben wurde in dem Sandstein lediglich eine hoch gesättigte Salzlösung angetroffen. Aus Untertagebohrungen in der Schachanlage Wefensleben, die bis an die Basis des Zechstein gestoßen wurden, traten nur geringe Mengen von Erdgas bzw. Erdöl aus, die jedoch nicht aus dem Rotliegend, sondern aus dem Staßfurtkarbonat stammen („Stinkschiefer“ s. u.).

Zechstein

Mit Beginn des Zechstein wurde das heutige Norddeutschland, das im Rotliegend weitgehend eingeebnet worden war, von Meerwasser überflutet. Die Verbindung zum offenen Weltmeer lag im Bereich der heutigen Nordsee. Durch fortschreitende Verdampfung des Meerwassers erhöhte sich die Konzentration gelöster Stoffe soweit, dass es zur Ausfällung in der Reihenfolge der jeweiligen Löslichkeit kam. Hierbei wurden zuerst Karbonate, dann Sulfate, danach Steinsalz und zuletzt die leicht löslichen Kali- und Magnesiumsalze ausgefällt. Dieser Vorgang wiederholte sich nach erneuten Überflutungen mehrfach.

Der erste Zyklus (Werra-Folge, z1) beginnt mit etwa 1 m mächtigem Zechsteinkonglomerat (nicht überall vorhanden), darüber folgen weniger als 0,5 m Kupferschiefer, etwa 4 m bis 6 m Werra-Karbonat und etwa 45 m Werra-Anhydrit. Zur Salzabscheidung kam es im Bereich des ERAM nicht.

Der zweite Zyklus (Steißfurt-Folge, z2) beginnt mit dem Steißfurt-Karbonat (Stinkschiefer) und dem Basalanhydrit mit zusammen etwa 5 m Mächtigkeit. Darüber folgen mehr als 150 m Steinsalz und das Kaliflöz Steißfurt (durchschnittlich 1 m bis 3 m). Den Abschluss bildet der Deckanhydrit (etwa 2 m).

Der dritte Zyklus (Leine-Folge, z3) beginnt mit dem Grauen Salzton (etwa 2 m), dem Leine-Karbonat (etwa 1 m) und dem Hauptanhydrit (40 m bis 100 m), darüber folgen etwa 100 m Leine-Steinsalz. Kalisalze der Leine-Folge sind im Bereich des Allertals nicht verbreitet.

Der vierte Zyklus (Aller-Folge, z4) beginnt mit dem Roten Salzton (bis zu 3 m) und bis 1 m Pegmatitanhydrit. Darüber folgen normalerweise etwa 50 m Aller-Steinsalz (im Grubengebäude nur reduzierte Mächtigkeiten), das in seinen oberen Partien Toneinlagerungen enthält (Tonbrockensalz).

Der basale Zechstein (z1 und z2 bis zum Basalanhydrit) ist im Untergrund flächendeckend verbreitet und durch mehrere Bohrungen aufgeschlossen. Die darüber liegenden „fließfähigen“ Salinargesteine (z2 bis z4) sind aus dem Bereich der Weferlinger Triasplatte, überwiegend jedoch aus dem Bereich der Lappwaldscholle in die Salzstruktur Allertal (Kapitel 1.3.5 und Abb. 1.3-3) eingewandert. Im Bereich der Weferlinger Triasplatte sind sie in einer Mächtigkeit von knapp 50 m erhalten geblieben. In der Lappwaldscholle fehlen diese Schichten z. T. ganz, so dass dort Buntsandstein direkt auf dem basalen Zechstein aufliegt. Im Bereich der Weferlinger Triasplatte sind die „fließfähigen“ Salinargesteine stark ausgedünnt.

Über den Salinargesteinen der Salzstruktur Allertal liegt das Hutgestein (siehe Abb. 1.3-5). Dieses entsteht, wenn Salinargesteine in Kontakt mit ungesättigten Wässern kommen und dadurch die leichtlöslichen Bestandteile aufgelöst und mit dem Wasser weggeführt werden. Aus den zurückbleibenden schwerlöslichen oder unlöslichen Bestandteilen sowie aus Sulfatneubildungen bildet sich neu das Hutgestein. Es besteht weitgehend aus Anhydrit bzw. Gips, daneben kommen Ton

bzw. Tonsteine vor. Die Grenzfläche zwischen Hutgestein und unterlagerndem Salinar nennt man Salzspiegel. Die Verbreitung des Hutgesteins ist auf die Salzstruktur Allertal beschränkt. Im Bereich des ERAM liegt der Salzspiegel bei ca. -140 m NN, die Hutgesteinsmächtigkeit kann bis ca. 240 m betragen.

Trias

Die Trias wird in Buntsandstein, Muschelkalk und Keuper gegliedert.

Buntsandstein

Auch die Ablagerungen des Buntsandstein lassen sich in eine Reihe von Zyklen gliedern, die jeweils mit grobkörnigen Sedimenten beginnen und mit feinkörnigen enden.

Im Unteren Buntsandstein war der Bereich des ERAM von einem seichten Meer bedeckt, das zeitweise trockenfiel. Belege dafür sind Trockenrisse und Rippelmarken, die sich vielfach auf den Schichtflächen zeigen. Abgelagert wurden rote und blaugraue Tonmergel mit Sandstein- und Kalksandsteinlagen. Der Untere Buntsandstein enthält auch karbonatische Rogensteinbänke. Seine Mächtigkeit beträgt ca. 290 m. In der Lappwaldscholle und der Weferlinger Triasplatte ist der Untere Buntsandstein flächendeckend verbreitet, im Bereich der Allertalzone fehlt er. Aufschlüsse gibt es östlich von Weferlingen.

Der Mittlere Buntsandstein wird in die Volpriehausen-, Detfurth-, Hardeggen- und Solling-Folge unterteilt. Die ca. 100 m mächtige Volpriehausen-Folge beginnt mit einem grobkörnigen Sandstein, darüber folgen tonig-sandige Lagen im Wechsel mit Sandsteinbänken. Detfurth- und Hardeggen-Folge wurden nicht abgelagert. Die ca. 50 m mächtige Solling-Folge beginnt mit dem Basissandstein, darüber liegen die tonigen Zwischenschichten. In der Lappwaldscholle und der Weferlinger Triasplatte ist der Mittlere Buntsandstein verbreitet, im Bereich der Allertalzone fehlt er. Auf der Weferlinger Triasplatte tritt der Mittlere Buntsandstein im Gebiet von Hödingen und Hörsingen zu Tage.

Der Obere Buntsandstein (Röt) besteht überwiegend aus feinkörnigen, tonigen Gesteinen, die auch Anhydrit und Gips führen. In seinem unteren Teil ist ein von Gips und Anhydrit begleitetes Steinsalzlager von ca. 15 m Mächtigkeit vorhanden. Die Schichtenfolge ist insgesamt ca. 140 m mächtig. In der Lappwaldscholle und der Weferlinger Triasplatte ist der Obere Buntsandstein verbreitet, im Bereich der Allertalzone fehlt er. Der Obere Buntsandstein tritt am westlichen Rand der Weferlinger Triasplatte von Weferlingen im Nordwesten bis Alleringersleben im Südosten zu Tage. In dieser oberflächennahen Lage ist das Steinsalzlager nicht mehr vorhanden.

Muschelkalk

Mit Beginn des Muschelkalk vollzog sich der Wechsel von den roten, sandig-tonigen Ablagerungen des Buntsandstein zur Ablagerung von grauen Mergeln und Kalken. Das Muschelkalkmeer war ein Binnenmeer in einer trockenen Umgebung. Bei starker Verdunstung und geringer Sedimentzufuhr entstanden vor allem karbonatische Gesteine.

Der ca. 100 m mächtige Untere Muschelkalk besteht aus dünnen, schwach mergeligen Kalksteinlagen mit einigen markanten Kalksteinbänken.

Der ca. 65 m mächtige Mittlere Muschelkalk besteht aus Dolomitmergelsteinen und Tonsteinen sowie Anhydritlagen. Weiterhin enthält er hier ein ca. 15 m mächtiges Steinsalzlager.

Der ca. 65 m mächtige Obere Muschelkalk besteht aus bankigen Kalksteinen, im oberen Teil aus einer Kalkstein-Tonstein-Wechselfolge. Der Fossilinhalt zeigt, dass diese Gesteine unter normalen marinen Bedingungen abgelagert wurden.

In der Lappwaldscholle ist Muschelkalk flächendeckend verbreitet, im Allertal fehlt er. Kleinere Muschelkalkschollen gibt es jedoch im Bereich der Nordost-Randstörung (Kapitel 1.3.4). Auf der Weferlinger Triasplatte ist der Muschelkalk infolge Erosion zum Teil ganz abgetragen worden oder nur in reduzierter Mächtigkeit erhalten geblieben. Das Steinsalzlager ist dort ausgelaugt. Gesteine des Muschelkalk werden im Kalkwerk Walbeck abgebaut.

Keuper

Im Keuper wurde das Meer flacher, von den Rändern schoben sich Deltas vor.

Im Unteren Keuper wurden zunächst schluffige Tonsteine und Dolomitmergelsteine, danach Schluff- und Tonsteine mit Feinsandstein-Bänken und -Lagen sedimentiert. Die Mächtigkeit beträgt ca. 55 m.

Im Mittleren Keuper herrschten weitgehend kontinentale Verhältnisse; in stehenden Gewässern und bei kurzzeitigen Meeresüberflutungen wurden hauptsächlich bunte Schluff- und Tonsteine abgelagert, in denen auch Gips und Steinsalz vorkommen. Er gliedert sich in Unteren Gipskeuper, Schilfsandstein, Oberen Gipskeuper und Steinmergelkeuper. Insgesamt ist der Mittlere Keuper ca. 400 m mächtig.

Der ca. 250 m mächtige Obere Keuper (Rhät) besteht aus einer Wechselfolge von Schluff- und Tonsteinen mit Sandsteinen, von deren früherem Abbau einige aufgelassene Steinbrüche zeugen. Untergeordnet treten auch Mergel- und Kalkmergelsteine auf.

In der Lappwaldscholle ist Keuper flächendeckend verbreitet, Rhät und Steinmergelkeuper treten zu Tage. Aufschlüsse (Rhät) finden sich in den ehemaligen Stein-

brüchen zwischen Mariental und Grasleben sowie im Brunnental bei Bad Helmstedt. Im Bereich der Allertalzone ist Keuper meist nur lückenhaft in ihrem östlichen Teil vorhanden, auf der Weferlinger Triasplatte fehlt er.

Jura

Der Jura wird in Lias, Dogger und Malm gegliedert.

Lias

Die Gesteine des Lias wurden in einem im Vergleich zum Keuper größeren und tieferen Meeresbecken abgelagert. Der Lias besteht vorwiegend aus dunklen Tonsteinen, zunächst noch mit einzelnen Sandsteinlagen, später mit Mergel- und Kalksteinen. Seine ursprüngliche Mächtigkeit betrug ca. 260 m.

Auf der Lappwaldscholle treten Schichten des Lias in einem ca. 3 km breiten Streifen zu Tage, außerhalb dieses Streifens wurden sie erodiert. In der Allertalzone findet sich Lias in Form einzelner, relativ kleiner Schollen. Auf der Weferlinger Triasplatte fehlt er.

Dogger

Die marinen Sedimente des im Bereich des ERAM ursprünglich ca. 140 m mächtigen Dogger bestehen im unteren Teil aus bräunlich gefärbten Ton- und Schluffsteinen und einem etwa 30 m mächtigen Sandstein. Der obere Dogger setzt sich aus Tonsteinen mit Toneisensteineinlagerungen zusammen. Schichten des Dogger treten heute nur im Bereich der Allertalzone in kleinen, isolierten Vorkommen (Erosionsreste) auf.

Malm

Die hellen, kalkigen Meeresablagerungen des Malm bestehen vorwiegend aus Mergelsteinen, untergeordnet treten Dolomite und Kalksteine auf. Die Ausgangsmächtigkeit dürfte ca. 100 m betragen haben. Schichten des Malm kommen nur in einzelnen Schollen in der Allertalzone vor.

Kreide

Im Bereich des ERAM kommen nur Schichten der höchsten Oberkreide vor, ihre Verbreitung ist auf Teile der Allertalzone beschränkt. Es sind die flachmarinen Alleringerslebener Schichten, die in das Campan eingestuft werden, und die brackig-lagunären bis limnisch-fluviatilen Walbecker Schichten, die dem Maastricht zugeordnet werden.

Die Unteren Alleringerslebener Schichten bestehen aus Konglomeratlagen im Wechsel mit Bänken von Schluff- und Sandsteinen. Die Oberen Alleringerslebener Schichten und die Walbecker Schichten bestehen durchweg aus Sanden. Insgesamt erreicht die Oberkreide in der Allertalzone bis ca. 270 m Mächtigkeit; einen ausgedehnten Aufschluss bietet der Tagebau Walbeck.

Tertiär

Im Bereich des ERAM kommen nur Schichten des Alttertiär vor. Sie beginnen mit den bis ca. 22 m mächtigen, limnisch-fluviatilen Fuchskuhlenberg-Schichten in der Allertalzone, die aus Sanden, Schluffen und Tonen bestehen. Sie könnten noch ins höhere Paleozän gehören, wahrscheinlicher ist jedoch ihre Einstufung in das untere Eozän.

Wahrscheinlich altersgleich sind die weniger als 10 m mächtigen, limnisch-fluviatilen Hödinger Schichten auf der Weferlinger Triasplatte, die aus Fein- und Mittelsanden bestehen.

In das Mitteleozän gehören die bis zu 15 m mächtigen, marinen Annenberg-Schichten. Sie bestehen aus glaukonitischen Feinsanden. Der untere Abschnitt der etwas jüngeren, marinen Gehlberg-Schichten besteht aus wenige Meter mächtigen glaukonitischen Schluffen und Feinsanden. Die Sande des oberen Abschnitts erreichen Mächtigkeiten bis zu 17 m. Die ca. 10 m mächtigen, marinen Silberberg-Schichten bestehen aus kalkhaltigen glaukonitischen Schluffen.

In das Oligozän gehören die bis zu 20 m mächtigen, marinen Rupel-Schichten, die in Rupel-Basissand und Rupel-Ton gegliedert werden.

Auf der Lappwaldscholle kommen Schichten des Tertiär bei Helmstedt und Offleben in größerer Verbreitung vor, in der Allertalzone und auf der Weferlinger Triasplatte sind sie nur lückenhaft vorhanden.

Relativ große Vorkommen finden sich in der Allertalzone bei Seehausen und westlich Schwanefeld. Von dort weiter nach Nordwesten gibt es noch einige kleine, isolierte Vorkommen, die alle im Nordostteil der Allertalzone östlich des Oberkreidevorkommens liegen.

Auf der Weferlinger Triasplatte kommt Tertiär nur in einzelnen kleinen Senken vor.

Im Tertiär herrschte warmes, subtropisches Klima mit reichem Pflanzenwachstum, das zur Bildung zahlreicher Braunkohlenlagerstätten führte. Bei Helmstedt wurden eozäne Braunkohlen abgebaut.

Quartär

Im Verlauf des Quartär kam es mehrfach zu größeren Klimaschwankungen und während der kältesten Phasen zu großräumigen Bedeckungen durch Inlandeis. Über das Standortgebiet sind zweimal Gletscher der Elster-Kaltzeit und einmal die der Saale-Kaltzeit bis an den Harznordrand nach Süden vorgestoßen. Die jüngeren Vereisungen haben das Gebiet nicht erreicht. Das Allertal lag während dieser Zeit im periglazialen Bereich mit seinen typischen Sedimenten, wie Fließerden und Löss.

Die stratigraphische Gliederung des Quartär in Glaziale (Kaltzeiten) und Interglaziale (Warmzeiten) beruht auf diesen Klimaschwankungen. Entsprechend der dreimaligen Eisbedeckung sind drei glaziale Zyklen mit Grundmoränen entwickelt, soweit sie nicht später wieder erodiert wurden. Während des gesamten Quartär war der Bereich des ERAM Festland; die Sedimentausbildung und die Mächtigkeiten wechseln stark.

Pleistozän

Als älteste Schichten kommen geringmächtige, feuersteinfreie Flussablagerungen vor, die vor der ersten Vereisung abgelagert wurden. Diese präglazialen Schotter finden sich in wenigen, kleinen Vorkommen im Bereich der Allertalzone und der Weferlinger Triasplatte.

Während der Elster-Kaltzeit wurde der Bereich des ERAM zweimal vom Inlandeis überdeckt. Es wurden Beckenschluffe, zum Teil mit Warven, Grundmoränen und Schmelzwassersande abgelagert. Insgesamt sind die Ablagerungen der Elster-Kaltzeit bis etwa 75 m mächtig; sie sind weitflächig in der Allertalzone nachgewiesen und treten auch in Senken auf der Weferlinger Triasplatte auf.

Die etwa 1 m bis 6 m mächtigen Schluffmudden, Torfe und Seekreide der Holstein-Warmzeit bilden den wichtigsten stratigraphischen Leithorizont der quartären Schichtenfolge. Sie sind relativ kleinflächig nur in der Allertalzone zwischen Beendorf und Ummendorf/Eilsleben verbreitet.

Die Ablagerungen der Fuhne-Kaltzeit und Dömnitz-Warmzeit entstanden im Zeitraum zwischen der Holstein-Warmzeit und dem Drenthe-Stadium der Saale-Kaltzeit (unterer Saale-Komplex). Sie sind auf das Verbreitungsgebiet der holsteinzeitlichen Bildungen beschränkt und lithologisch nicht von diesen zu unterscheiden. Im Gebiet

um Morsleben werden sie ca. 1 m bis 6 m mächtig, zwischen Ummendorf und Eilsleben können sie subrosionsbedingt bis ca. 40 m Mächtigkeit erreichen.

Während der Saale-Kaltzeit (Drenthe-Stadium) wurden nur in der Allertalzone als Vorschüttbildungen Mittel- und Grobsande mit bis zu 8 m Mächtigkeit sowie bis zu ca. 4 m mächtige glazilimnische Beckenschluffe und Schluffmudden abgelagert.

Im Drenthe-Stadium wurde der Bereich des ERAM zum letzten Mal vom Inlandeis überdeckt. Die ca. 2 m bis 6 m mächtige Grundmoräne ist weitflächig verbreitet, mit örtlichen nachgewiesenen Maximalmächtigkeiten in der Allertalzone von mehr als 12 m. Glazifluviatile bis -limnische Sedimente sind nur sehr lückenhaft bis maximal 10 m Mächtigkeit vorhanden.

Ablagerungen der Eem-Warmzeit finden sich nur im Seelschen Bruch nördlich Ummendorf. Die Seekreiden und Kalkmudden erreichen Mächtigkeiten bis zu ca. 5 m.

Die Vereisung der Weichsel-Kaltzeit hat den Bereich des ERAM nicht erreicht. Die Hauptsedimente dieses Zeitabschnittes sind durchschnittlich ca. 2 m mächtige Fließerden (vor allem im Lappwald und am Südwestrand des Allertals) und Löss bzw. Schwemmlöss mit jeweils etwa 1 m bis 3 m Mächtigkeit. Im Allertal bildeten sich die Sande und Kiese der Niederterrasse, die etwa 4 m bis 6 m mächtig sind.

Holozän

Es werden drei Ablagerungen verschiedenen Alters unterschieden: Fluviatile Sande der Aller und ihrer Nebentäler, limnische Schluff-, Kalk- und Torfmudden sowie fluviatile Auelehme.

1.3.3 Regionale Strukturgeologie

Das ERAM liegt in der Allertalzone. Diese liegt im nördlichen Teil des Subherzynen Beckens, das sich zwischen der Harz-Scholle und der Flechtingen-Rosslauer Scholle erstreckt. Das Subherzyne Becken wiederum ist ein Teil der Niedersächsischen Scholle im Norddeutschen Becken.

Das Subherzyne Becken wird aus sechs Krustenblöcken von 7 km bis 15 km Breite aufgebaut, die etwa parallel zum Nordrand der Harz-Scholle verlaufen. Die Ränder dieser tektonischen Einheiten sind mit schmalen, langgestreckten Salzstrukturen (Schmalsätteln) besetzt. Von Nordosten nach Südwesten sind dies (Abb. 1.3-1):

- Allertalzone,
- Strukturzug Beinrode – Staßfurt mit den Einzelstrukturen Dorm, Offlebener Sattel, Oscherslebener Sattel, Egelner Sattel,

- Asse-Struktur,
- Ascherslebener Sattel,
- Strukturzug Harli, Quedlinburger Sattel.

Bei entsprechender Breite der tektonischen Einheiten haben sich Salzkissen (Breitsättel) auf den Krustenblöcken gebildet wie Elm, Heiligendorf, Fallstein, Huy und Hakel.

Das Subherzyne Becken ist geprägt von lang aushaltenden Nordwest-Südost streichenden Störungen. An vielen Störungen sind die Salzgesteine des Zechstein infolge instabiler Dichteschichtung (geringere Dichte der Salzgesteine gegenüber den überlagernden Gesteinen) in die sie überlagernden jüngeren Gesteine eingedrungen. Zum Teil kam es auch nur zu Aufwölbungen des Deckgebirges.

Den tiefen Untergrund des Norddeutschen Beckens bilden gefaltete Sedimentgesteine des Karbon und älterer Zeitalter. Seit dem Perm war das Norddeutsche Becken überwiegend Senkungsgebiet. Im Rotliegend kam es im Norddeutschen Becken zu mächtigen Gesteinsablagerungen. Für die strukturelle Ausgestaltung waren in großen Teilen des Norddeutschen Beckens die bis über 1.000 m mächtigen Salzlager des Zechstein prägend. Im Gebiet des nördlichen Subherzynen Beckens betrug die ursprüngliche Gesamtmächtigkeit der salinaren Gesteine des Zechstein ca. 500 m bis 700 m.

Die Niedersächsische Scholle weist in Malm und Unterkreide erhöhte Sedimentmächtigkeiten auf. Charakteristisch sind grabenartige Senkungen, die von Hebungen abgelöst werden, die in der mittleren Oberkreide mit Auf- und Überschiebungen verbunden sind (Inversionstektonik). Auf der Niedersächsischen Scholle sind zwei Richtungen großer Störungszonen vorherrschend, Westnordwest-Ostsüdost bis Nordwest-Südost (herzynisch) und Nordnordost-Südsüdwest (rheinisch). Die Nordost-Südwest-Richtung (erzgebirgisch), die dem Streichen des Faltenbaus im Untergrund entspricht, tritt kaum in Erscheinung. Die herzynisch streichenden Störungszonen beherrschen weite Teile der Niedersächsischen Scholle. Einige von ihnen, z. B. die Allertalzone, waren bereits im Buntsandstein aktiv. Die meisten dieser Störungszonen sind jedoch jünger und führten zu Absenkungen der Beckenschollen im Malm und der Unterkreide sowie zu Aufschiebungen in der mittleren Oberkreide. Fast alle kamen in der Oberkreide zur Ruhe und wurden später nicht mehr aktiv.

In der späten Oberkreide und im Tertiär setzte eine generelle großräumige Hebung der Niedersächsischen Scholle ein, die zu flächenhaften Abtragungen führte. Im Bereich des ERAM wurden dabei die Schichten bis in das Niveau des Jura und der Trias abgetragen. Erosionsreste der Kreide und des Tertiär sind aufgrund von subsionsbedingten Einsenkungen über der Salzstruktur Allertal erhalten geblieben.

Das Subherzyne Becken wird durch die Nordnordost-Südsüdwest-streichende Braunschweig-Gifhorn-Störungszone mit ihren Salzstrukturen im Westen begrenzt (Abb. 1.3-1). Im Subherzynen Becken fällt der subsalinare Untergrund von seinem

Tagesausstrich entlang des Flechtinger Höhenzuges (Kapitel 1.3.2) bis auf über 3.000 m Tiefe vor dem Harznordrand ab (Abb. 1.3-2). Im Subherzynen Becken selbst spielen Nordost-Südsüdwest-streichende Störungen keine Rolle. Bei den herzynisch streichenden Strukturelementen wechseln relativ breite Sättel und Mulden mit schmalen Salzstrukturen und Gräben. Die Allertalzone ist die beherrschende Störungszone im Subherzynen Becken.

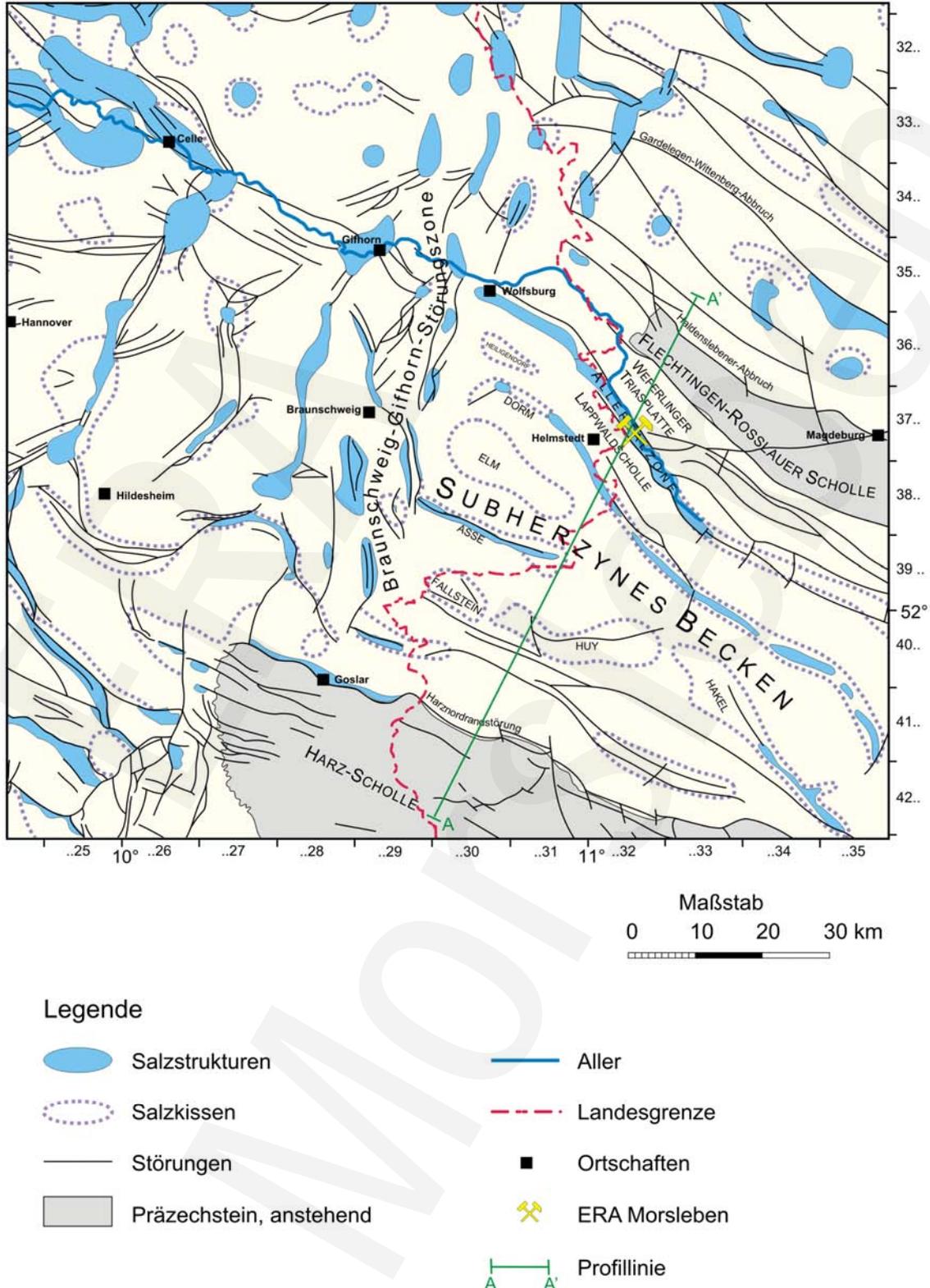


Abb. 1.3-1: Strukturgeologische Übersichtskarte (Schnitt A-A' siehe Abb. 1.3-2).

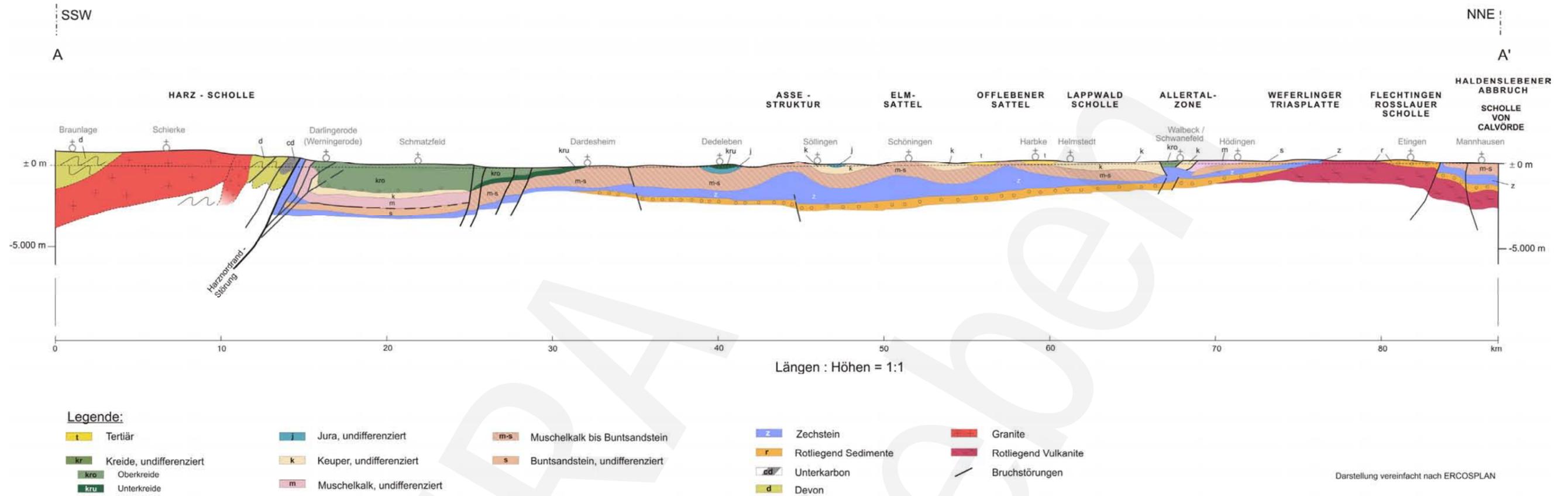


Abb. 1.3-2: Schematischer geologischer Südsüdwest-Nordost-Schnitt (A-A') durch das Subherzynische Becken von der Harz-Scholle bis zur Scholle von Calvörde, Schnittlinie siehe Abb. 1.3-1.

1.3.4 Tektonik des Nahbereiches

Die tektonischen Einheiten im Bereich des ERAM sind in Abb. 1.3-3 dargestellt.

Die Allertalzone erstreckt sich von Wolfsburg im Nordwesten bis etwa Seehausen im Südosten über eine Länge von etwa 50 km. Südlich von Morsleben spalten sich zwei Störungszonen ab. Die Ummendorfer Störung liegt in Verlängerung der Südwest-Randstörung, während die Hauptgrabenstörung und der Uhrlebener Graben sich bogenförmig von der Nordost-Randstörung nach Südosten abspalten. Zwischen der Weferlinger Triasplatte und der Lappwaldscholle besteht im Subsalinar im Bereich der Schachanlage Bartensleben ein Teufenunterschied von ca. 200 m.

Nordöstlich an die Allertalzone grenzt die Weferlinger Triasplatte mit einer Breite von ca. 8 km bis zum Flechtinger Höhenzug als Teil der Flechtingen-Rosslauer Scholle an. Hier treten die Schichten des präsalinaren Untergrundes (Rotliegend und gefaltetes Karbon) zu Tage. Die Nordost-Begrenzung der Flechtingen-Rosslauer Scholle wird vom Haldenslebener Abbruch gebildet, der ebenso wie die Harznordrandstörung in der mittleren Oberkreide seine letzte große Aktivitätsphase erlebte. Der Haldenslebener Abbruch trennt die Hochscholle des Flechtinger Höhenzuges von der Scholle von Calvörde, in der das postsalinare Deckgebirge vollständig erhalten ist.

Die Allertalzone wird im Gebiet des ERAM im Westen von der Südwest-Randstörung begrenzt, die die Triasgesteine der Lappwaldscholle vom Salzkörper trennt. Diese unter die Lappwaldmulde abtauchende Trennfläche stellt die später modifizierte ursprüngliche Abschiebungsbahn dar, an der sich im Keuper die Allertalspalte öffnete und durch Abgleitvorgänge die Bildung der Salzstruktur ermöglichte.

Die Nordost-Randstörung stellt die Begrenzung zur Weferlinger Triasplatte dar, von der sich die heutige Tiefscholle (Lappwaldscholle) in der Trias ablöste. Sowohl die Südwest-Randstörung als auch die Nordost-Randstörung werden von einer kompliziert gebauten Übergangszone begleitet. Entlang der Südwest-Randstörung sind die sonst im Bereich des ERAM an der Wende von der Kreide zum Tertiär abgetragenen Gesteine des Jura durch jüngere Subrosions- und Abgleitvorgänge erhalten geblieben. Sie lagern zusammen mit Keupergesteinen als Versturz- und Abgleitmassen direkt der Salzstruktur im Westen auf, wobei es zu stratigraphischen Umstapelungen gekommen ist.

Östlich der Versturz- und Abgleitmassen findet sich ein Streifen mit den grobklastischen Sedimenten der Alleringerslebener Schichten und den feinklastischen Quarzsandfolgen der Walbecker Schichten, die in einer schmalen rinnenförmigen Zone dem Hutgestein westlich seiner Kulmination auflagern. Im zentralen Teil der Struktur ragt das Hutgestein zum Teil bis ca. 20 m unter die Erdoberfläche, überwiegend bedeckt von kreidezeitlichen und quartären Bildungen.

Im östlichen Teil der Allertalzone wird die Salzstruktur von Keuper (Gipskeuper im Süden, Steinmergelkeuper im Norden) bedeckt. Diese Bedeckung stellt die Reste der

ersten Sedimentation auf der initialen Salzstruktur im Keuper dar. An der Nordost-Randstörung knicken die auf der Weferlinger Triasplatte flach gelagerten triassischen Schichten mit ca. 45° Einfallen nach Südwesten zur Allertalzone hin ab. Stellenweise sind kleine Muschelkalkschollen mit in die Störungszone einbezogen (Generalsberg, Kalkberg, Kleppersberg).

Im Untergrund der Salzstruktur sind Sockelstörungen von ca. 50 m bis 150 m Versatz vorhanden, an denen der präsalinare Sockel von ca. -500 m NN im Nordosten auf ca. -700 m NN im Südwesten stufenweise abfällt. Diese Störungen wurden durch triaszeitliche Dehnungstektonik angelegt und in der Oberkreide durch Einengungsvorgänge reaktiviert. Seit dem Mittelpleistozän weisen die neotektonischen Vorgänge eine Intensität auf, die unterhalb der eindeutigen geologischen und gegenwärtigen messtechnischen Nachweisbarkeit bleiben.

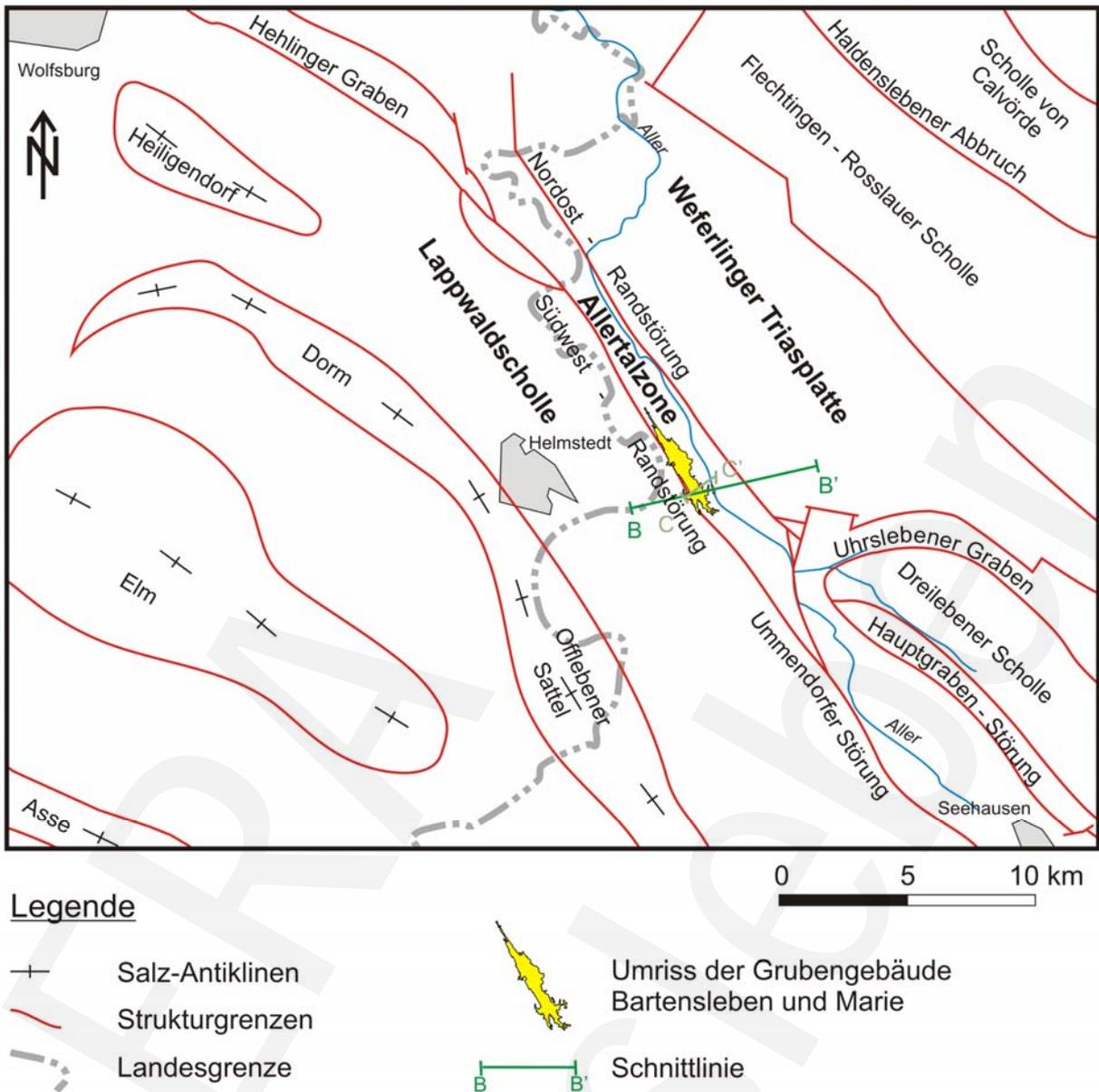


Abb. 1.3-3: Tektonische Einheiten im Bereich des ERAM. Schnitt B-B' siehe Abb. 1.3-4, Schnitt C-C' siehe Abb. 1.3-5.

1.3.5 Geologischer Bau der Salzstruktur

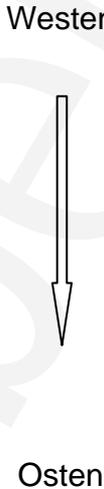
Die Salzstruktur Allertal ist insbesondere im westlichen Teil tief subrodiert, so dass nur ihr unterster Abschnitt erhalten geblieben ist.

Sättel und Mulden

Die Salzstruktur ist in sich durch einen ausgeprägten Nordwest-Südost-streichenden Faltenbau gegliedert. Die Sättel werden im Kern aus den salinaren Einheiten der Staßfurt-Folge aufgebaut, während in den Mulden Einheiten von der Leine-Folge bis zur Aller-Folge vorkommen. In den Grubengebäuden Bartensleben und Marie werden die Großfalten von Westen nach Osten wie in Tab. 1.3-2 bezeichnet:

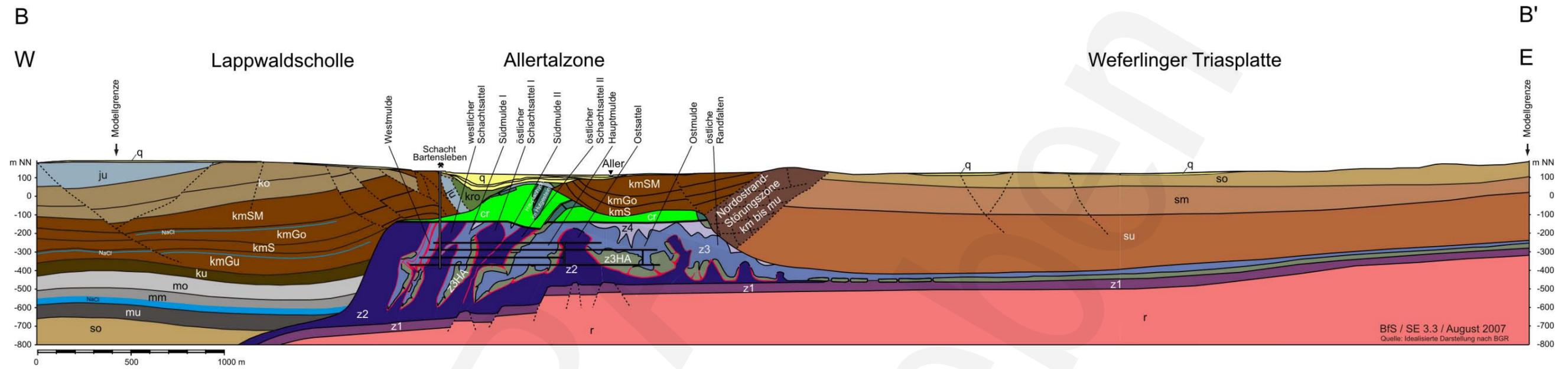
Tab. 1.3-2: Großfalten im Bereich der Grubengebäude Bartensleben und Marie.

Grubengebäude Bartensleben	Grubengebäude Marie
	West sattel
Westmulde	Westmulde
westlicher Schachtsattel	
Südmulde I	
östlicher Schachtsattel I	Schachtsattel
Südmulde II	
östlicher Schachtsattel II	
Hauptmulde	Hauptmulde
Ost sattel	Störung Lager K
Ostmulde	Ostmulde
Randsattel I	Randsattel I
Randmulde	
Randsattel II	



Im südwestlichen Bereich der Salzstruktur herrscht ein nordostgerichteter, isoklinaler Faltenbau vor, im Nordosten dagegen ein offener Faltenbau nahezu ohne Vergenz. Die Vergenzänderung tritt mit Erreichen des Ostsattels ein.

Ausschlaggebend für den isoklinalen Bau sind die Salzgesteine der Staßfurt-Folge, die schon wegen ihrer großen Mächtigkeit gegenüber den Schichten der Leine- und Aller-Folge die halotektonischen Bewegungen initiiert und geprägt haben. Das Kaliflöz Staßfurt, als mobilste Einheit zwischen den beiden unterschiedlichen Schichtkomplexen, hat die unterschiedlichen Bewegungen durch Anstau oder sehr starke Ausdünnung ausgeglichen. Die Gesteine der Leine- und Aller-Folge reagierten im westlichen Grubenbereich mit einem sehr engständigen isoklinalen Faltenbau auf den Aufstieg der Schichten der Staßfurt-Folge. Dabei wurden Schichten, vorwiegend an den westlichen Faltenschenkeln, stark ausgewalzt bzw. völlig unterdrückt. Der Hauptanhydrit reagiert aufgrund seines spröden Verhaltens bruchhaft auf die Faltung der übrigen salinaren Gesteine und liegt daher heute in der Salzstruktur in Form einzelner durch Salz getrennter Schollen vor. Der Grad seiner Zerblockung nimmt entsprechend in Richtung auf die Hauptbewegungszone (Hauptmulde und westliche Randfalten) zu.



Legende

- Störung
- Schichtung
- Steinsalz im Nebengebirge
- Nordostrand-Störungszone
- Salzspiegel
- Quartär
- Oberkreide
- ju Unterjura
- ko Oberer Keuper
- kmSM Steinmergelkeuper
- kmGo Oberer Gipskeuper
- kmS Schilfsandstein
- kmGu Unterer Gipskeuper
- ku Unterer Keuper
- mo Oberer Muschelkalk
- mm Mittlerer Muschelkalk
- mu Unterer Muschelkalk
- so Oberer Buntsandstein
- sm Mittlerer Buntsandstein
- su Unterer Buntsandstein
- r Rotliegend
- z4 Salinar der Aller-Folge
- z3 Salinar der Leine-Folge
- z3 HA Hauptanhydrit
- z2 SF Kaliflöz Staßfurt
- z2 Steinsalz der Staßfurt-Folge
- z1 Salinar der Werra-Folge
- Hauptanhydrit im Hutgestein mit Deckanhydrit, Grauem Salzton und Leine-Karbonat

Abb. 1.3-4: Schematischer geologischer West-Ost-Schnitt (B-B') durch das Allertal im Bereich des ERAM. Schnittlinie siehe Abb. 1.3-3.

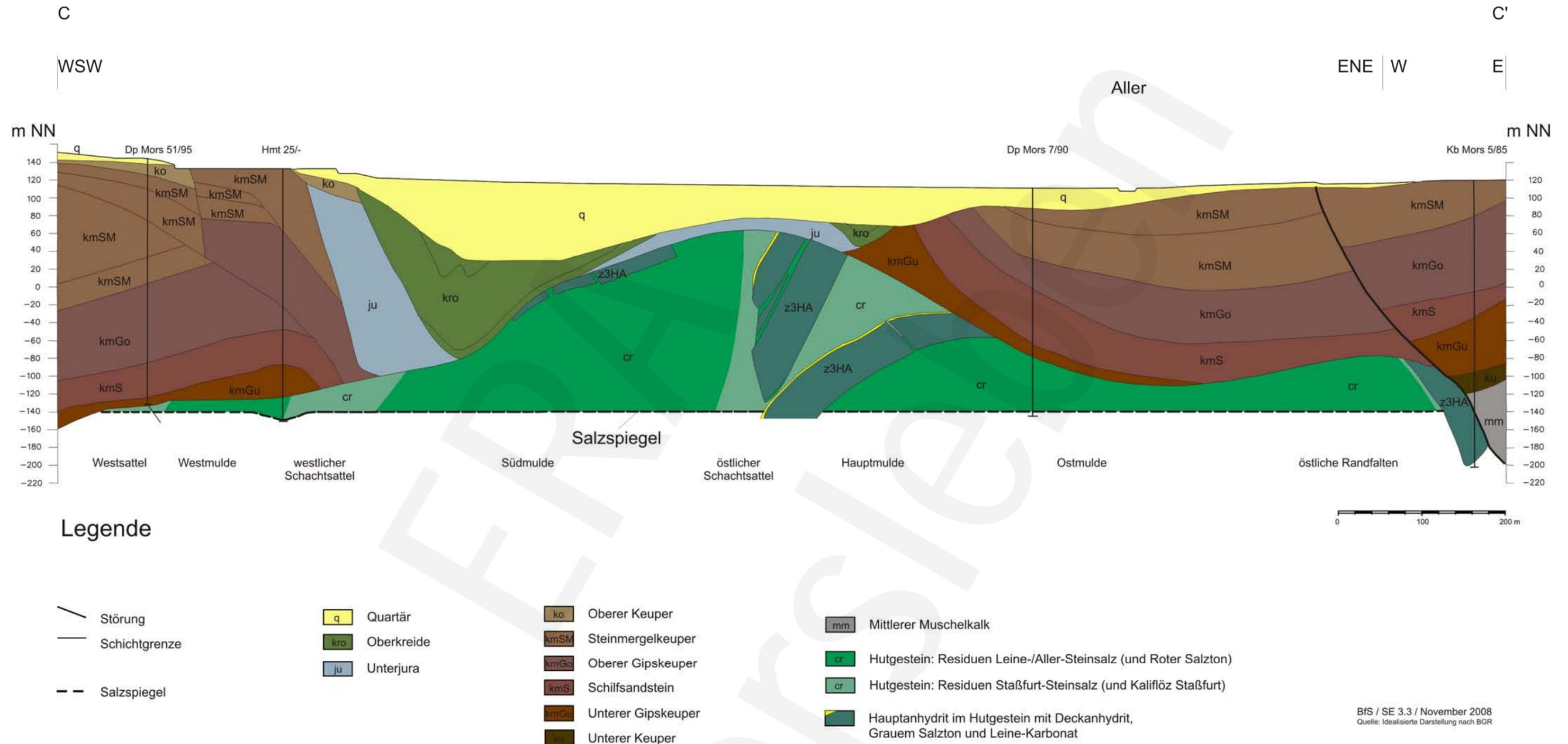


Abb. 1.3-5: Schematischer Westsüdwest-Ostnordost-Schnitt (C-C') durch das Hutgestein im Bereich des ERAM. Schnittlinie siehe Abb. 1.3-3

Der in Schollen zerlegte Hauptanhydrit blieb im Sinne einer tektonischen Selektion als relativ spröder und immobilere Körper vorwiegend in den Muldenscharnieren und den tieferen Bereichen der Mulden zurück. Generell wurden nur vereinzelte Hauptanhydritschollen kleinerer Dimension von den mobileren Salzen mit ins Hangende geschleppt. Der Anteil des Hauptanhydrits in den Salinar-Schichten beträgt ca. 20 Vol.-% und ist damit im Vergleich zu anderen Salzstrukturen relativ groß.

Gesamtmächtigkeit der salinaren Schichten

Der Salzspiegel liegt weitgehend flachsöhlig bis leicht gewellt in einer Tiefe von ca. -140 m NN. An einigen Stellen im Ausstrichbereich des Kaliflözes kommen Eintiefungen des Salzspiegels, zum Teil bis ca. 35 m, vor. Derartige Eintiefungen befinden sich über dem Hauptquerschlag Bartensleben und über dem 3. Nordquerschlag Marie im Bereich des Lagers H.

Die Oberfläche des Staßfurt-Karbonats liegt im Westen bei ca. -670 m NN, unter dem Ostfeld bei ca. -470 m NN. Das fließfähige Salinar bis zum Salzspiegel hat demnach im Westen eine maximale Mächtigkeit von ca. 530 m und im Osten von ca. 330 m.

Entstehung der Salzstruktur

Mit dem Öffnen der Allertalspalte im Keuper (Kapitel 1.3.4) wanderten in die sich allmählich verbreiternde Störungszone salinare Gesteine ein und stiegen auf. Die Zufuhr kam überwiegend aus dem Bereich der Lappwaldscholle. Dafür spricht sowohl die Lage der Zechsteinbasis als auch die starke Vergenz der Großfalten im westlichen Strukturteil. Aus dem Osten fand nahezu keine Zuwanderung in die Struktur statt, was durch aufrechten Faltenbau im östlichen Teil der Salzstruktur nachgewiesen wird.

Der Hauptanhydrit erreicht im West-, Ost- und Südfeld der Grube Bartensleben den Salzspiegel nicht. Im Bereich der Westflanke der Hauptmulde reichen der Hauptanhydrit und das Kaliflöz Staßfurt über beiden Grubengebäuden bis zum Salzspiegel. Über der Längsachse dieser Struktur sind auch die größten Mächtigkeiten des Hutgesteins anzutreffen. Über anderen Teilen der Salzstruktur ist das Hutgestein deutlich geringmächtiger. Hieraus ist zu schließen, dass sich der Hauptaufstiegsbereich des Salinars im Bereich der Westflanke der Hauptmulde befindet und hier auch das meiste Salinar abgelaugt wurde.

Subrosion

Der Prozess der Subrosion erfolgt im Untergrund, wenn die Gesteine der Salzstruktur an ihrer Obergrenze in Kontakt mit ungesättigten Grund- und Formationswässern kommen. Dadurch werden leichtlösliche Bestandteile aufgelöst und mit den Wässern weggeführt. Erstreckt sich dieser Lösungsprozess auf die meist chloridischen Salinargesteine, wird er als Chloridsubrosion bezeichnet. In seiner Folge entsteht aus den zurückbleibenden schwer- und unlöslichen Mineralen der Salzgesteine (Anhydrit, Tonminerale), den schwer- und unlöslichen Gesteinen im Salinar (z. B. Hauptanhydrit, Leinekarbonat) sowie Sulfatneubildungen das Hutgestein. Die Ablaugungsfläche der Salinargesteine, der Salzspiegel, bildet die Basis des Hutgesteins. Auch das sulfatische Hutgestein selbst kann an seiner Oberfläche Lösungs- und Verkarstungsprozessen unterliegen. In diesem Fall spricht man von Sulfatsubrosion.

Das Ausmaß der Subrosion hängt von den Durchlässigkeiten der über dem Salinar bzw. dem Hutgestein liegenden Schichten, den Grundwasserströmungsbedingungen sowie eventuellen Hebungsraten der Salzstruktur ab.

Insbesondere die Salinarsubrosion ist für Langzeitsicherheitsbetrachtungen von Bedeutung, da durch diesen Prozess die Mächtigkeit der undurchlässigen Salzbarriere des Endlagerbergwerkes geschwächt werden kann. Effekte der Sulfatsubrosion sind von geringerer Bedeutung. Ihre Folgen, wie z. B. die Verkarstung an der Oberfläche des Hutgesteins, wurden im Langzeitsicherheitsnachweis berücksichtigt.

Die Sulfatsubrosion wurde als ein potenziell die Barrieremächtigkeit reduzierender Prozess mit verschiedenen Untersuchungsmethoden eingehend untersucht. Aus der Analyse der in der geologischen Vergangenheit unter verschiedenen Randbedingungen abgelaufenen Subrosion und aufgrund der Bestimmung der aktuellen Subrosionsraten können hinreichend gesicherte Prognosen für die zukünftige Subrosion gemacht werden.

Die Rate der Salinarsubrosion war in der geologischen Vergangenheit unterschiedlich. Aktive Subrosionsphasen waren durch tektonisch bedingten starken Salzaufstieg oder unter eiszeitlichen Bedingungen mit Eisüberdeckung gegeben. Gegenwärtig findet aufgrund der tektonischen und hydrogeologischen Verhältnisse praktisch keine flächenhafte Subrosion statt. Sie beträgt derzeit wenige hundertstel Millimeter pro Jahr.

In den kommenden 150.000 Jahren kann selbst unter Berücksichtigung extremer Szenarien wie Permafrost nur eine Steinsalzschiebt mit der Mächtigkeit von ca. 2 m aufgelöst werden.

Unter glazialen Bedingungen, wie sie im Zusammenhang mit den quartären Vereisungen im Bereich des ERAM geherrscht haben, waren die Subrosionsraten unterschiedlich. Während die Verhältnisse während der Saale- und Weichsel-Kaltzeit zu keinen erkennbaren Auswirkungen auf die Subrosion führten, erreichte die flächenhafte Subrosionsrate während der Elster-Eiszeit vor rund 400.000 Jahren

durchschnittliche Werte bis zu einem zehntel Millimeter pro Jahr. Dies führte unter den damaligen geologischen Verhältnissen zur Subrosion von mehreren 10er Metern Salzgestein. Vergleichbare Randbedingungen sind jedoch für die nächsten 150.000 Jahre ausgeschlossen und auch darüber hinaus sehr unwahrscheinlich.

Eine weitere Möglichkeit der Subrosion besteht in der bevorzugten Lösung und Umwandlung von Kalisalzen entlang der Kaliflözausbisse am Salzspiegel. Dieser Prozess der selektiven Subrosion hat in der geologischen Vergangenheit entlang der Faltenstruktur der Westflanke der Hauptmulde am Salinarkörper stattgefunden. Er spielt eine Rolle bei der hydrogeologischen Interpretation des Salzlösungsvorkommens Lager H im Grubengebäude Marie. Im Langzeitsicherheitsnachweis wurde die Existenz daraus resultierender Subrosionsrinnen berücksichtigt.

Permeabilitäten salinärer Gesteine

Zur Ermittlung der Permeabilitäten wurden In-situ-Tests durchgeführt. Die Tests weisen nach, dass Steinsalz im unverritzten Zustand keine Permeabilität größer als 10^{-20} m^2 besitzt. Die Auflockerungszone um Einzelstrecken ist weniger als 1 m mächtig. Im stoßnahen Bereich (bis 20 cm Tiefe) werden Permeabilitäten kleiner als 10^{-15} m^2 gemessen. Die Ausdehnung der Auflockerungszonen um große Abbaue (Querschnittsfläche ca. 100 m^2 bis 1.000 m^2) ist auf wenige Meter beschränkt.

Der innerhalb der Salzstruktur (unterhalb des Salzspiegels) ausgebildete Graue Salzton besitzt für Salzlösung eine Permeabilität im Bereich von 10^{-18} m^2 bis 10^{-19} m^2 . Der Hauptanhydrit ist heterogen und weist wechselnde Permeabilitäten von kleiner 10^{-20} m^2 bis in den Bereich größer 10^{-15} m^2 auf. Diese Permeabilitätsvariation tritt im Meterbereich auf. Kompakter Hauptanhydrit besitzt für Gas und Salzlösung keine Permeabilität größer als 10^{-20} m^2 . Nur in geklüfteten Bereichen liegen höhere Permeabilitäten vor. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass Wegsamkeiten großräumig nur innerhalb der einzelnen Hauptanhydrit-Schollen vernetzt sind.

Vorkommen von Gasen

Bei Streckenauffahrungen und Bohrarbeiten wurden wiederholt Gase angetroffen. Hauptsächlich kamen die Gase aus dem Hauptanhydrit, untergeordnet aus dem Staßfurt-Karbonat. Die meisten waren hinsichtlich ihrer Zutrittsmenge gering und kurzzeitig. Der Hauptanhydrit fungiert als Speichergestein der Gase, die in Gesteinen des Karbon und wohl auch im Staßfurt-Karbonat gebildet wurden. Die Gase bestehen zu ca. 75 Vol.-% aus N_2 sowie zu ca. 25 Vol.-% aus CH_4 , zu ca. 0,3 Vol.-% aus höheren Kohlenwasserstoffen (C_2 bis C_5) und zu ca. 0,1 % aus CO_2 .

Vorkommen wässriger Salzlösungen

In Salzbergwerken vorkommende wässrige Salzlösungen müssen besonders beachtet und ggf. überwacht werden, da ihr Ursprung möglicherweise in Grundwasser führenden Gesteinen des Deck- und Nebengebirges der Salzstruktur liegen könnte. In diesem Fall bestünde eine hydraulisch wirksame Verbindung zwischen Wässern im Deck- bzw. Nebengebirge und dem Grubengebäude.

In den Grubengebäuden Bartensleben und Marie treten aus Salinargesteinen an einzelnen Lokationen wässrige Salzlösungen zu. Alle Lösungsvorkommen im ERAM wurden erfasst und dokumentiert. Die überwiegende Anzahl ist inzwischen versiegt bzw. ausgetrocknet. Die Lage der langjährig regelmäßig überwachten Lösungsvorkommen ist in Abb. 1.3-6 dargestellt. Die Summe der Zutrittsraten aller geogenen Lösungszutritte in den Grubengebäuden Bartensleben und Marie betrug seit 1991 ca. $12 \text{ m}^3/\text{a}$ (entspricht ca. $1,4 \text{ l/h}$).

Nur im Grubengebäude Marie im Bereich des Lagers H treten wässrige Salzlösungen ins Grubengebäude ein, deren Wasseranteil aus dem Deckgebirge der Salzstruktur stammt. Diese Lösungszutritte sind bereits 1907 beim Abbau eines Kaliflözes bis dicht an den Salzspiegel heran aufgetreten. Hier beträgt der minimale Abstand der Grubenbaue zum Salzspiegel nur ca. 30 m bis 40 m. Die durchschnittliche Zutrittsrate seit 1991 liegt im Lager H bei ca. $11 \text{ m}^3/\text{a}$ (entspricht ca. $1,2 \text{ l/h}$). Die zutretenden Lösungen verursachen keine Lösungserscheinungen im Grubengebäude, da sie bezogen auf die dort anstehenden Salzminerale vollständig gesättigt sind.

Alle anderen Vorkommen wässriger Salzlösungen haben keine hydraulisch wirksame Verbindung zu Grundwässern. Es handelt sich bei ihnen entweder um Vorkommen salinärer Lösungen, die seit geologischen Zeiten (Millionen von Jahren) im Salzgestein eingeschlossen waren, oder um Wässer, die bergbaubedingt (z. B. Versatz-, Wetterlösungen) oder als Folge der Nutzung der untertägigen Hohlräume (z. B. bei der Hühnermast) in die Gruben gelangten bzw. noch gelangen.

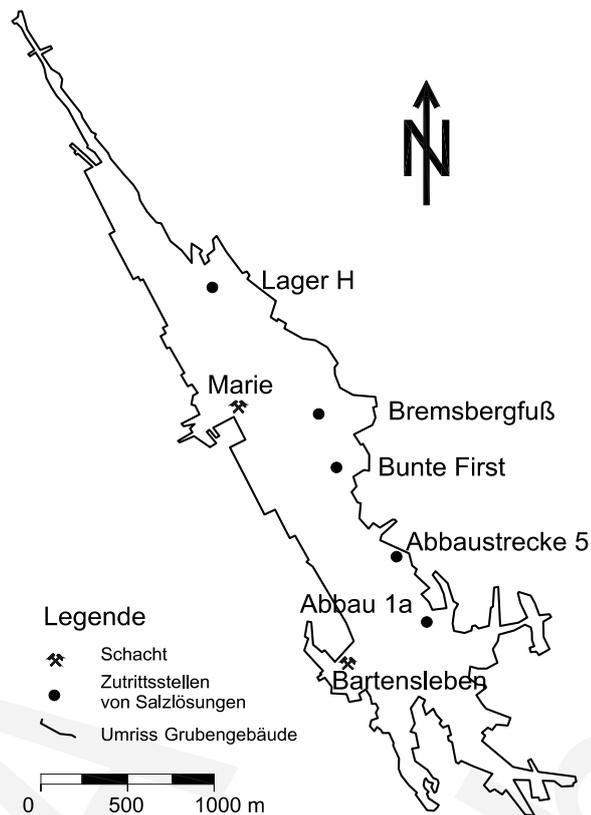


Abb. 1.3-6: Langjährig regelmäßig überwachte Vorkommen wässriger Salzlösungen in den Grubengebäuden Bartensleben und Marie.

1.4 HYDROGEOLOGISCHE GEGEBENHEITEN

1.4.1 Abgrenzung des Untersuchungsgebietes

Im Untersuchungsgebiet ERAM wurden verschiedene geowissenschaftliche Untersuchungen durchgeführt, die dazu dienten, den Standort geologisch und hydrogeologisch zu beschreiben. Es wird zwischen einem geologischen Rahmen (erweitertes Untersuchungsgebiet) und einem engeren Untersuchungsgebiet unterschieden. Das erweiterte Untersuchungsgebiet ermöglicht die regionale Einbindung in die weitere Umgebung und stellt mit ca. 162 km² den flächenmäßig umfassenden Rahmen für weitgehend alle durchgeführten geowissenschaftlichen Erkundungsmaßnahmen dar. Es ist im Wesentlichen durch folgende Gauss-Krüger-Koordinaten abgedeckt:

rechts: 44 33 000 – 44 45 000 bei hoch: 57 98 000

rechts: 44 33 000 – 44 45 000 bei hoch: 57 92 000

rechts: 44 39 000 – 44 45 000 bei hoch: 57 82 000

Innerhalb des geologischen Rahmens befindet sich das engere Untersuchungsgebiet. Es lässt sich auf Basis der Befunde aus den Erkundungen im erweiterten Untersuchungsgebiet eingrenzen. Im engeren Untersuchungsgebiet liegt z. B. die Mehrzahl der Bohrungen und es wurden weitere, z. T. vertiefende geowissenschaftliche Arbeiten zur Bearbeitung spezifischer Aufgabenstellungen durchgeführt (z. B. Darstellung der Verbreitung des Tertiär und der Kreide, quartärgeologische, bodenkundliche und morphogenetische Kartierung). Dabei kann das engere Untersuchungsgebiet je nach Aufgabenstellung und durchgeführten Maßnahmen in seinen Abmessungen variieren, zum größten Teil jedoch nur geringfügig. Für den Großteil der Maßnahmen umfasst das engere Untersuchungsgebiet eine Fläche von ca. 38 km², die durch die folgenden Koordinaten beschrieben werden kann:

rechts: 44 34 000 – 44 38 500 bei hoch: 57 93 000

rechts: 44 34 000 – 44 40 000 bei hoch: 57 90 000

rechts: 44 37 000 – 44 42 000 bei hoch: 57 86 000

Der geologische Rahmen und das engere Untersuchungsgebiet sind in der Abb. 1.1-2 dargestellt.

Die im erweiterten und engeren Untersuchungsgebiet vorgenommenen geowissenschaftlichen Untersuchungen wurden im Hinblick auf hydrogeologische Strukturen und deren geohydraulischen Eigenschaften ausgewertet. Die weiträumig ermittelten Befunde wurden hydrogeologisch mit dem Ziel der Modellbildung interpretiert und daraus ein hydrogeologisches Modellgebiet abgeleitet. Dieses erfasst die im Untersuchungsgebiet relevanten hydrogeologischen Gegebenheiten.

Geohydraulische Modellrechnungen sind unter anderem Voraussetzung für die Erstellung eines Sicherheitsnachweises. Die Darstellung der maßgeblichen hydrogeologischen Strukturen, Einheiten und Eigenschaften in einem hydrogeologischen Modell wird mit dem Ziel verfolgt, auf dieser Grundlage Berechnungen zur Simulation der Grundwasserbewegung und eines potenziellen Radionuklidtransports in der Geosphäre durchzuführen.

Das nachfolgend umrissene hydrogeologische Modellgebiet befindet sich innerhalb des geologischen Rahmens. Generell orientiert sich die Abgrenzung des Modellgebietes an der strukturellen Ausrichtung des Allertals. Es umfasst im Wesentlichen das Einzugsgebiet der Aller zwischen Alleringersleben und Walbeck mit einer Fläche von ca. 58 km² und entspricht in etwa dem oberirdischen Einzugsgebiet.

Der westliche und der östliche vertikale Rand des hydrogeologischen Modellgebietes wurden auf die unterirdischen Wasserscheiden (Einzugsgebietsgrenzen) des Lappwals respektive der Weferlinger Triasplatte gelegt. Entsprechend dem Gefälle des Allertals verläuft der Grundwasserstrom generell von Süd nach Nord. Der nördliche und der südliche Rand des hydrogeologischen Modellgebietes sind an die Durchflusssmessstellen der Aller bei Alleringersleben bzw. Schwanefeld gebunden.

Die Untergrenze des Modellgebiets wurde so gewählt, dass aufgrund der hydraulischen Eigenschaften der dort anstehenden Gesteinseinheiten kein vertikaler Wassertransport über diese Grenze hinaus stattfinden kann. Entsprechend des uneinheitlichen Aufbaus der drei Struktureinheiten wurde die untere Begrenzung des Modellgebiets unterschiedlich gewählt. Sie liegt in der Lappwaldscholle an der Basis des Schilfsandsteins (Obergrenze Unterer Gipskeuper), in der Allertalzone an der Basis des Deckgebirges einschließlich Hutgestein (Obergrenze Zechsteinsalinar = Salzspiegel) und in der Weferlinger Triasplatte an der Basis des Mittleren Buntsandstein (Obergrenze Unterer Buntsandstein).

Die obere Grenze des Modellgebiets stellt sich im Ergebnis der Rechnungen auf der Basis der im Modellgebiet herrschenden Grundwasserneubildung ein.

1.4.2 Hydrogeologischer Bau

Unter Berücksichtigung der Gesteinsausbildung und der davon abhängigen Durchlässigkeit der verschiedenen geologischen Schichten lassen sich aus den stratigraphischen Einheiten (Kapitel 1.3.2) hydrogeologische Einheiten ableiten, indem übereinanderliegende stratigraphische Einheiten mit gleicher Durchlässigkeit zu einer hydrogeologischen Einheit zusammengefasst werden oder eine stratigraphische Einheit mit unterschiedlicher petrographischer Ausbildung in verschiedene hydrogeologische Einheiten aufgeteilt wird.

Diese hydrogeologische Einteilung erfolgt wegen des unterschiedlichen geologischen Baus und der jeweils unterschiedlichen Schichtenfolge getrennt für die Struktureinheiten Lappwaldscholle, Allertalzone und Weferlinger Triasplatte. Die Einteilung wird jeweils von oben nach unten vorgenommen (Abb. 1.4-1). Bei den folgenden Beschreibungen der drei Struktureinheiten ist zu beachten, dass sich die Einteilung in Grundwasserleiter und Grundwasserstauer nicht ausschließlich an den lokal bestimmten Gebirgsdurchlässigkeiten (k_f -Werte) orientiert, sondern vielmehr hydraulische Leitfähigkeitskontraste der hydrostratigraphischen Einheiten untereinander im hydrogeologischen Profil abbildet.

Die großräumige Bewegung des oberflächennahen Grundwassers im Untersuchungsgebiet ist anhand des Grundwassergleichenplans (Hydroisohypsenplan) in Abb. 1.4-3 veranschaulicht und in Kapitel 1.4.4 erläutert. Die Grundwasserbewegung wird aufgrund des hydraulischen Potenzialunterschieds zwischen den morphologischen Hochlagen (Lappwaldscholle und Weferlinger Triasplatte) und dem niedrigeren Vorflutniveau der Aller angetrieben. Wie dieser Potenzialunterschied zu einer Bewegung des Grundwassers führt, hängt von den hydraulischen Eigenschaften der hydrogeologischen Einheiten, ihrem räumlichen Bau, den Durchlässigkeitsunterschieden zwischen den verschiedenen Einheiten und der Dichte des Wassers ab.

Lappwaldscholle (L)

Die Gesteinsfolge wird in zehn hydrogeologische Einheiten eingeteilt, die z. T. noch in Untereinheiten gegliedert werden (Tab. 1.4-1). Als Grundwasserleiter treten klüftige Sand-, Schluff- und Tonsteine des Lias (L1), des Mittel- bis Oberrhät (L3), des Unterrhät und des Steinmergelkeuper (L5 und L6, hydraulisch nicht getrennt) sowie lokal und untergeordnet des Schilfsandstein (L8, teilweise) auf. Diese Grundwasserleiter werden im Profil von großräumig deutlich wirksamen grundwasserstauenden Schichten getrennt (siehe Abb. 1.4-1). Dies sind die Tonstein-, Schluffstein- und Dolomitmergelstein-Folgen am Übergang vom Jura zum Oberrhät (L2) und vom Mittel- und Unterrhät (L4) sowie die z. T. gips- und steinsalzführenden Einheiten Oberer Gipskeuper (L7) und Unterer Gipskeuper bis Salinar im Muschelkalk (L9 und L10). Eine Sonderstellung nehmen die Versturz- und Gleitmassen aus Oberkeupermaterial (bei Walbeck auch aus Juramaterial) ein, die vorwiegend als Grundwasserleiter anzusprechen sind (L3a). Die quartären Sedimente auf der Lappwaldscholle sind nur geringmächtig und liegen weitgehend oberhalb des Grundwasserspiegels. Sie brauchen daher nicht berücksichtigt zu werden.

Tab. 1.4-1: Hydrostratigraphische Gliederung der Lappwald-Scholle (L).

Stratigraphie		Mächtigkeit in m	Lithologie	Modelleinheit /-untereinheit	Gebirgsdurchlässigkeit in m/s	
Jura	Sinemurium	ju si	50	L1	1·10 ⁻⁷ bis 1·10 ⁻⁶	
	Hettangium	ju he (o)	20			
		ju he (1)	20			
		ju he (u)	60	L2	1·10 ⁻⁹ bis 1·10 ⁻⁸	
Keuper	Rhät	Ober-	ko (3c)	20	L3a (Versturz- und Gleitmassen ko(Gl))	1·10 ⁻⁷ bis 1·10 ⁻⁵
			ko (3b) bis ko (2c)	50		
		Mittel-	ko (2b)	50	L3	1·10 ⁻⁵ bis 1·10 ⁻⁴
			ko (2a)	17		
		Unter-	ko (1) 8-9	30	L4	5·10 ⁻⁸ bis 5·10 ⁻⁷
			ko (1) 1-7	85		
	ko (1) 1-7		85	L5		
	Steinmergelkeuper	kmSM (3)	25	L6	1·10 ⁻⁸ bis 1·10 ⁻⁷	
		kmSM (2)	90			
		kmSM (1)	45			
	Oberer Gipskeuper	kmGo	90	L7	K1	1·10 ⁻¹¹ bis 1·10 ⁻¹⁰
					K2	<1·10 ⁻¹¹
					K3	1·10 ⁻⁹
	Schilfsandstein	kmS	45	L8	K1	1·10 ⁻¹¹
					K2	5·10 ⁻⁸ bis 1·10 ⁻⁷
					K3	1·10 ⁻¹⁰ bis 1·10 ⁻⁹
	Modellbasis					
	Unterer Gipskeuper	kmGu	125	L9	<1·10 ⁻¹¹	
	Unterer Keuper	ku	55	L10	<1·10 ⁻¹¹	
Muschelkalk	Oberer Muschelkalk	mo	65			
		Mittlerer Muschelkalk	mm			50
			15	Steinsalz	<1·10 ⁻¹⁵	
	Unterer Muschelkalk	mu	100	L10	<1·10 ⁻¹¹	

Allertalzone (A)

Die Gesteinsfolge lässt sich in 14 hydrogeologische Einheiten einteilen, die z. T. noch in Untereinheiten gegliedert werden (Tab. 1.4-2). Im Quartär stellt die nur örtlich ausgeprägte Elster-Grundmoräne lokal einen ausgeprägten Stauer dar (A4), die Sande der Niederterrasse (A1) und die Zwischensande der Elster-Kaltzeit (A3) sind gute Porenwasserleiter. Alle übrigen quartären Sedimente werden zu einer Einheit zusammengefasst (A2). In Abb. 1.4-1 sind alle quartären Schichtglieder aufgrund der nur lokal grundwasserstauenden Eigenschaften der Elstergrundmoräne als grundwasserleitende Einheiten dargestellt. Die kreidezeitlichen Sande der Walbecker Schichten (A5), der Oberen und der Unteren Alleringerslebener Schichten (A6, A7) sind drei hydraulisch eng verbundene Porenwasserleiter.

Als vorwiegend wasserstauend haben sich die Jura-Schollen am Südwestrand der Salzstruktur bzw. unterhalb der Kreidebasis erwiesen (A8). Dies ist auf ihre lithologische Ausbildung als überwiegend Tonstein bis Schluffstein, das steile Schichteinfallen (60° bis 90°) und die teilweise plastische Konsistenz (keine Klüfte) zurückzuführen. Die mittels hydraulischer Untersuchungen getesteten Abschnitte weisen Gebirgsdurchlässigkeiten von $5 \cdot 10^{-11}$ m/s bis $2 \cdot 10^{-7}$ m/s auf. Als Schätzung für die vorwiegend senkrecht zum Schichteinfallen wirkende Gesamtdurchlässigkeit der Einheit A8 wurde eine Gebirgsdurchlässigkeit von $1 \cdot 10^{-9}$ m/s für Modellrechnungen angesetzt, ergänzt durch $1 \cdot 10^{-8}$ m/s bis $1 \cdot 10^{-7}$ m/s für die oberen Partien der Jura-Schollen nordwestlich Beendorf. Mit diesen Eigenschaften stellen die Jura-Schollen einen hydraulischen Kontrast zu den beiderseits angrenzenden Grundwasserleitern unterschiedlicher Ausprägung dar und hemmen die Grundwasserbewegung von der Lappwaldscholle in das Allertal. Ein seitlicher Grundwasserzutritt aus dem Deck- bzw. Nebengebirge der Lappwaldscholle über die Gesteine des Jura zum Hutgestein wird daher ausgeschlossen.

Geklüftete Schluff- und Tonsteine des Rhät und des Steinmergelkeuper, die eine schwach grundwasserleitende Folge bilden, werden in der Allertalzone zu einem Grundwasserleiter zusammengefasst (A9), während der Obere Gipskeuper wie in der Lappwaldscholle als Nichtleiter (A10) in Erscheinung tritt. Der zwischen den ausgeprägten Grundwasserstauern des Oberen und Unteren Gipskeuper liegende Schilfsandstein wirkt trotz seiner geringen Durchlässigkeit als lokaler Grundwasserleiter. Er kommt wie der Untere Gipskeuper und Reste des Mittleren und Unteren Muschelkalk nur inselförmig vor (A11, A12). Das Hutgestein wird zu einer hydrogeologischen Einheit zusammengefasst (A13). Innerhalb dieser Einheit wird eine geringmächtige Schichtenfolge mit etwas erhöhter Durchlässigkeit ausgewiesen. Die subrosiv unveränderte saline Abfolge des Zechstein (A14) schließt die hydrogeologische Einteilung zur Tiefe hin ab.

Anhand der Verteilung der grundwasserleitenden und grundwasserhemmenden hydrogeologischen Einheiten über der Salzstruktur wird deutlich, dass der Salzspiegel in der Allertalzone durch grundwasserhemmende Einheiten überlagert wird. Diese dichten die Salzstruktur nach oben hin auch für Oberflächenwässer, z. B.

aus Vorflutern, ab. Damit ist ein Zutritt von oberflächennahem Grundwasser bis zum Salzspiegel auch im Bereich des Ostfeldes ausgeschlossen.

Die Modellierung der Transportprozesse für Grundwasser erfolgt auf der Grundlage zugewiesener physikalischer Parameter für einzelne Schichteinheiten. Dabei werden alle den Transport beeinflussenden Parameter anhand gemessener und abgeleiteter Werte definiert. Für die Modellierung der potenziellen Transportprozesse von Schadstoffen aus der Grube in das Deckgebirge ist das Hutgestein von wesentlicher Bedeutung.

Das Hutgestein ist aufgrund seiner unterschiedlichen Ausgangsgesteine und aufgrund unterschiedlicher geologischer Prozesse, denen es unterlag, nicht einheitlich aufgebaut. Folgende geologische Strukturen mit relativ erhöhten Permeabilitäten liegen im Hutgestein vor:

- Die Schichtenfolge Deckanhydrit – Grauer Salzton – Leinekarbonat, die als nichtchloridische Zechsteinfolge bei der Subrosion wenig verändert.
- Karstschlotten, die als Sekundärphänomene durch Sulfatverkarstung an der Hutgesteinsobergrenze entstanden sind. Sie sind mit Gesteinsmaterial der darüber liegenden Sedimenten gefüllt und weisen eine begrenzte Teufenerstreckung auf. Entsprechend der Lithologie der das Hutgestein überlagernden Schichten (Keuper, Jura oder Kreide, selten Quartär) sind sie mit schlecht durchlässigem tonigem (Keuper-, Jura-) und schluffigem (Kreide-) Material plombiert.
- Offene Klüfte in Hauptanhydrit-Schollen, die durch Lösung der ehemaligen Kluftfüllung nahe der Hutgesteinsoberfläche entstanden sind und ebenfalls eine begrenzte Teufenerstreckung aufweisen.

Die für potenzielle Transportprozesse aus dem Grubengebäude wesentliche Schicht innerhalb des Hutgesteins wird von der zusammengefassten Schichtenfolge Deckanhydrit – Grauer Salzton – Leinekarbonat zur sogenannten DGL gebildet. Die durchschnittlich ca. 4 m mächtige Schicht bildet innerhalb des sehr gering durchlässigen Hutgesteins einen Bereich, in dem signifikant höhere Durchlässigkeiten gemessen wurden. Obwohl sie aufgrund der geologischen Prozesse bei der Bildung des Hutgesteins in Einzelschollen zerbrochen ist, wird für Transportmodellierungen davon ausgegangen, dass sie einen durchgehenden Fließweg vom Salzspiegel durch das sonst praktisch inpermeable Hutgestein darstellt. Für die DGL werden in gewonnenen Messdaten Gebirgsdurchlässigkeiten von $5 \cdot 10^{-9}$ m/s bis $< 1 \cdot 10^{-11}$ m/s angegeben. Die Ergebnisse dieser In-situ-Messungen stimmen mit den Labormessungen an Kernproben sehr gut überein ($3 \cdot 10^{-8}$ m/s bis $4 \cdot 10^{-10}$ m/s). Bei der Modellierung wird für die Gebirgsdurchlässigkeit der Wertebereich von $1 \cdot 10^{-8}$ m/s bis $1 \cdot 10^{-11}$ m/s für den gesamten Bereich der DGL-Schicht verwendet. In Teilbereichen der DGL möglicherweise durch stärkere Klüftung hervorgerufene erhöhte Gebirgsdurchlässigkeiten sind durch die angenommene Bandbreite der Werte mit abgedeckt. Diese Transportparameter decken auch die lokal im Hutgestein vorkommenden Strukturen mit höheren Durchlässigkeiten ab.

Für Transportprozesse innerhalb der DGL ist auch die Porosität der Schichtenfolge ausschlaggebend. Sie setzt sich zusammen aus geringer Kluftporosität in den Bereichen des Deckanhydrit und des Leinekarbonat und großer Tonporosität im Bereich des Grauen Salzton. Die Tonporosität ist im Bereich der DGL für die hydraulischen Eigenschaften dominant, weil der Graue Salzton durch halokinetische Bewegungen in alle benachbarten Schichten eingeschuppt wurde.

Insgesamt ist die Schichtenfolge DGL im Bereich des Hutgesteins eine Schichtenfolge mit erhöhten Gebirgsdurchlässigkeiten und damit für die Modellierung eines Lösungszutritts und damit verbundener Transportvorgänge aus der vollgelaufenen Grube heraus der Haupttransportpfad. Hieraus resultiert die besondere Bedeutung dieser Schichtenfolge für die Szenarien- und die Sicherheitsanalyse.

Tab. 1.4-2: Hydrostratigraphische Gliederung der Allertalzone (A).

Stratigraphie		Mächtigkeit in m	Lithologie	Modelleinheit /-untereinheit	Gebirgsdurchlässigkeit in m/s	
Quartär	qw/f	5	Sande	A1	$5 \cdot 10^{-4}$	
	qe(2)-qh	bis 100 m	Schluffe	A2	$1 \cdot 10^{-6}$	
	qe(1-2)gf		Sande	A3	$1 \cdot 10^{-4}$	
	qe//gm		Geschiebemergel	A4	$5 \cdot 10^{-8}$	
Obere Kreide	Walbecker Schichten	krWA	bis 80	Sande +/- schluffig	A5	$1 \cdot 10^{-4}$
	Alleringerslebener Schichten	krALo	bis 130	Feinsand, schluffig	A6	$1 \cdot 10^{-5}$
		krALu	bis 15	Feinsand, schluffig-tonig	A7	$1 \cdot 10^{-8}$
Jura	j	bis 150	Schluff- u. Tonstein, selten Feinsandstein	A8	K1 $1 \cdot 10^{-9}$ K2 $1 \cdot 10^{-8}$ K3 $1 \cdot 10^{-7}$	
Keuper	ko	bis 100	Ton-, Schluff- u. Feinsandstein	A9	K1 $1 \cdot 10^{-10}$ bis $1 \cdot 10^{-9}$ K2 $1 \cdot 10^{-8}$ bis $1 \cdot 10^{-7}$	
	kmSM	bis 180	Ton- u. Schluffstein			
	kmGo	90	Tonstein mit Gips	A10	K1 $1 \cdot 10^{-11}$ bis $1 \cdot 10^{-10}$ K2 $1 \cdot 10^{-10}$ bis $1 \cdot 10^{-9}$	
	kmS	45	Schluffstein, z. T. Feinsandstein	A11	$1 \cdot 10^{-9}$	
	kmGu	bis > 80	Tonstein, Mergelstein	A12	K1 $1 \cdot 10^{-9}$ K2 $1 \cdot 10^{-11}$ bis $1 \cdot 10^{-10}$	
	ku					
Hutgestein	cr(z3/4NA)	bis > 200	Anhydrit und Gips, selten Ton	A13	K1 $1 \cdot 10^{-11}$	
	cr(z3AN)		Anhydrit mit Gips			
	cr(z2/3 DA+GT+CA)		Anhydrit, Ton- u. Kalkstein		K2 $1 \cdot 10^{-11}$ bis $1 \cdot 10^{-8}$	
	cr(z2NA)		Anhydrit mit Gips		K1 $1 \cdot 10^{-11}$	
Modellbasis						
Zechstein			Salinare Abfolge	A14	$< 1 \cdot 10^{-11}$	

Weferlinger Triasplatte (T)

Bei der hydrogeologischen Einteilung der Schichten in sieben hydrogeologische Einheiten, die z. T. noch in Untereinheiten gegliedert werden (Tab. 1.4-3), sind in der Einheit „Deckschichten“ (T1) mit Blick auf ihre untergeordnete Rolle für das Modell der Grundwasserbewegung so verschiedenartige Gesteine wie die Kalksteine des Unteren Muschelkalk und die tertiären sowie quartären Sande, Schluffe und Tone der Hochfläche zusammengefasst worden. Das gesamte Röt bildet eine Einheit (T2). Maßgebender Grundwasserleiter für die Grundwasserbewegung auf der Weferlinger

Triasplatte sind die klüftigen Sand-, Schluff- und Tonsteine der Solling-Folge (T3). Darunter folgen die mächtigen, vorwiegend das Grundwasser nichtleitende Schluff- und Tonsteine (selten Feinsandsteine) der Volpriehausen-Folge (T4) und des Unteren Buntsandstein (T6), getrennt durch die basalen Sandsteine (T5) der Volpriehausen-Folge.

Eine Sonderstellung nehmen die Gesteine im Bereich der Nordostrand-Störung ein (T7). Es handelt sich dabei hauptsächlich um Schollen des Unteren, Mittleren und Oberen Buntsandstein und vereinzelt in diesem Bereich umgelagerten Muschelkalkschollen. Dieser Bereich weist wechselhafte Lagerungsverhältnisse auf, wodurch eine detaillierte hydrostratigraphische Spezifizierung erschwert wird. Die Schollen werden daher als eigenständige Modelleinheit T7 zusammengefasst, wobei eine Durchlässigkeitsdifferenzierung – Hangendanteil grundwasserleitend bis -hemmend, Basisbereich grundwasserhemmend bis -nichtleitend – vorgenommen wurde. Dies beruht auf den Befunden von Bohrungsaufschlüssen, aus denen die in den Basisteilen verbreiteten Schollen des Unteren und Mittleren Buntsandstein als hydraulisch undurchlässig eingestuft wurden (Modelluntereinheit K2). Aufgrund dieser Eigenschaften ist insbesondere dem Basisbereich eine hydraulische Barrierefunktion gegen die seitlich angrenzenden Grundwasserleiter der Wefelinger Triasplatte zuzuordnen. Insgesamt werden aufgrund der komplizierten Lagerungsformen die Durchlässigkeitsverhältnisse der hydrogeologisch nicht weiter differenzierbaren Schollen mit einer großen Parameterspannweite beschrieben (siehe Tab. 1.4-3). Aufgrund der ermittelten grundwasserhemmenden Eigenschaften und im Vergleich mit den angrenzenden Modelleinheiten wurde die Einheit T7 insgesamt als grundwasserhemmende Einheit eingestuft.

Die Modelleinheit T7 stellt mit ihren grundwasserhemmenden Eigenschaften einen hydraulischen Kontrast gegenüber den angrenzenden grundwasserleitenden Einheiten dar. Aufgrund der großräumigen Bewegungsrichtung des oberflächennahen Grundwassers von den Hochlagen der Wefelinger Triasplatte zur Aller ist trotzdem von einer Grundwasserbewegung über die Modelleinheit T3 auszugehen. Die Bewegung des Grundwassers in Richtung der Salzstruktur nimmt dabei vom Hangenden zum Liegenden stark ab. Dies ist auf die mit der Teufe zunehmenden grundwasserhemmenden Eigenschaften der hydrogeologischen Einheiten und die zunehmende Salinität des Grundwassers und damit verbundene Dichteerhöhung zurückzuführen. Dies führt zu einer Verlangsamung der Bewegung des tieferen Grundwassers bis hin zu rein diffusiven Transportvorgängen. Ein Lösungszutritt aus tieferem Grundwasser bis an den Salzspiegel ist daher auszuschließen.

Tab. 1.4-3: Hydrostratigraphische Gliederung der Weferlinger Triasplatte (T).

Stratigraphie			Mächtigkeit in m	Lithologie	Modell-Einheit /-untereinheit	Gebirgsdurchlässigkeit in m/s			
Quartär und Tertiär			30	Sande, Schluffe u. Tone	T1	K1	$1 \cdot 10^{-6}$		
Muschelkalk				Kalkstein		K2	$1 \cdot 10^{-8}$ bis $1 \cdot 10^{-7}$		
Buntsandstein	Röt	Pelitröt	soMy soP	90	Schluffstein bis Tonstein	T2	K1	$1 \cdot 10^{-8}$ bis $1 \cdot 10^{-7}$	
		Salinarröt	soS	30	Ton- bis Schluffstein mit Gips		K2	$1 \cdot 10^{-7}$ bis $1 \cdot 10^{-6}$	
	Mittlerer Buntsandstein	Solling-Folge	smSW	50	Ton-, Schluff-, Fein- und Mittelsandstein	T3		$1 \cdot 10^{-6}$ bis $1 \cdot 10^{-5}$	
			smSS						
	Mittlerer Buntsandstein	Volpriehausen-Folge	smV	80	Ton- u. Schluffstein, selten Feinsandstein	T4		$1 \cdot 10^{-10}$	
			smVS	20	Sandstein	T5		$\leq 1 \cdot 10^{-9}$	
	Modellbasis								
	Unterer Buntsandstein	Bernburg-Folge	suB	100	Schluff- u. Tonstein, selten Feinsandstein	T6		$< 1 \cdot 10^{-10}$	
			Calvörde-Folge	suC	190				Ton- u. Schluffstein, sehr selten Feinsandstein
	Zechstein		Z		Residuen	-			
Schollen im Bereich der Nordost-Randstörung		mm mu so sm su	-	Ungegliedert (Kalkstein, Mergelstein, Tonstein, Schluffstein, Sandstein)	T7	K1	$1 \cdot 10^{-9}$ bis $1 \cdot 10^{-7}$		
						K2	$1 \cdot 10^{-11}$ bis $1 \cdot 10^{-9}$		

Zusammenfassung

Die Lagerungsverhältnisse der hydrogeologischen Einheiten sowie der Einfluss der Tektonik auf die hydrogeologischen Gegebenheiten sind in Abb. 1.4-1 dargestellt. Deutlich zu erkennen sind:

- der Wechsel von grundwasserleitenden und grundwasserhemmenden hydrogeologischen Einheiten,
- die muldenförmige Struktur der Lappwaldscholle mit überwiegend Grundwasserleitern,
- eine steilstehende grundwasserhemmende Einheit an der Grenze zur Allertalzone,
- die Überlagerung des Salzspiegels durch grundwasserhemmende Einheiten in der Allertalzone,
- die beiden Randstörungen der Allertalzone und
- die flach nach Südwesten einfallenden, überwiegend grundwasserhemmenden hydrogeologischen Einheiten der Weferlinger Triasplatte.

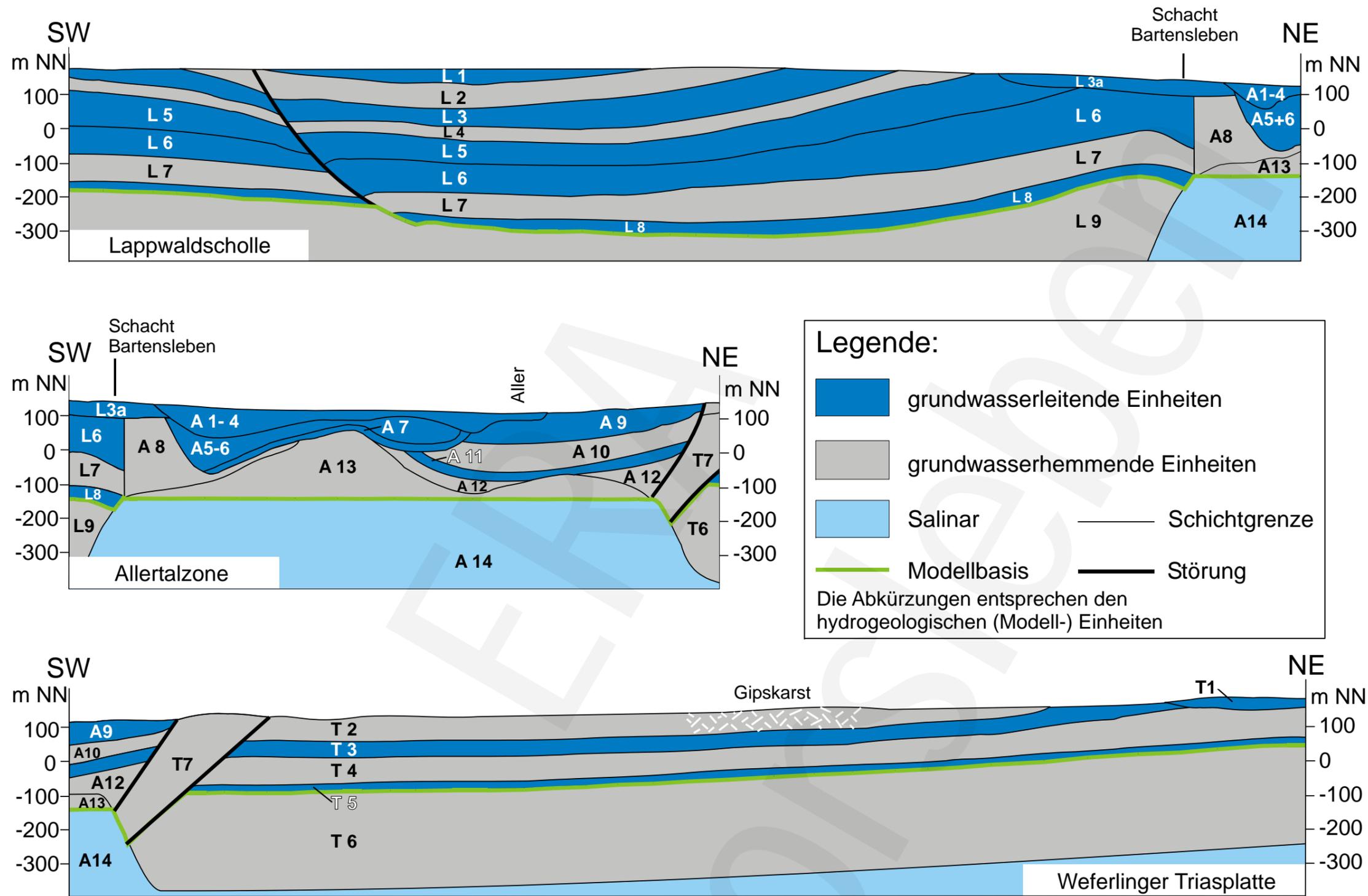


Abb. 1.4-1: Schematisierte Lagerungsverhältnisse der hydrogeologischen Einheiten in einem über das ERAM von Südwest nach Nordost verlaufenden Gebietsstreifen.

1.4.3 Hydraulische Eigenschaften

Die Gebirgsdurchlässigkeiten wurden mittels hydraulischer Tests, Kurzpumpversuchen und Laborversuchen bestimmt. Bis auf die Lockergesteine der hydrogeologischen Einheiten A1 bis A7 wird das Fließverhalten durch Klüfte geprägt.

Für die hydrogeologischen Einheiten der Lappwaldscholle, Allertalzone und Weferlinger Triasplatte sind Gebirgsdurchlässigkeiten in Tab. 1.4-1, Tab. 1.4-2 und Tab. 1.4-3 zusammengestellt.

1.4.4 Grundwasser

Grundwasserbeschaffenheit

Die Konzentration der Inhaltsstoffe des Grundwassers nimmt prinzipiell mit der Tiefe zu, wobei die Ionen Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium, Sulfat, Chlorid und Hydrogenkarbonat dominierend sind. Damit verbunden ist eine Zunahme der Dichte des Grundwassers. Die Dichtezunahme erfolgt nicht gleichmäßig, sie wird beeinflusst durch die stoffliche Zusammensetzung und die Durchlässigkeit der hydrogeologischen Einheiten. In Abb. 1.4-2 werden als Beispiel Profile der Grundwasserdichte in je einer Bohrung auf der Lappwaldscholle (L) und der Allertalzone (A) dargestellt.

Lappwaldscholle (L):

Die Grundwässer der hydrogeologischen Einheiten L1, L3 und L5 mit wechselnden Ca-Mg-SO₄-HCO₃-Typkombinationen sind durchweg gering mineralisiert. Von der Basis des Rhät (L5), zuweilen auch erst vom oberen Steinmergelkeuper (L6) an, nimmt die Mineralisation zu, wobei Natrium und Chlorid neben Calcium und Sulfat typprägend sind. Im Schilfsandstein (L8) sind, bedingt durch das Steinsalzlager im Oberen Gipskeuper (L7), Na-Cl-Lösungen vorhanden. Im Bereich der Südwest-Randstörung sind in den hydrogeologischen Einheiten L6 und L8 die Mineralisationsgrade deutlich geringer (Na-Cl-Typ; seltener Ca-Mg-SO₄-Typ) als im Zentrum der Lappwaldscholle. Die hydrogeologische Einheit L3a enthält in der Nähe des Schachtes Bartensleben in relativ geringer Tiefe vergleichsweise sehr hoch mineralisierte Wässer vom Na-Ca-Cl- und Na-Cl-Typ. Der Salzbach (siehe auch Abb. 1.4-3) wird aus diesem hoch mineralisierten Grundwasser gespeist.

Allertalzone (A):

Die Grundwässer des Quartär (A1 und A3) sind durchweg gering mineralisiert. Im Ober-Kreidetrog (A5–A7) mit seinen größeren Sedimentmächtigkeiten vollzieht sich im unteren Bereich der Einheit A6 ein Wechsel vom Ca-Mg-HCO₃-SO₄- zum Na-Ca-Cl- bzw. Na-Cl-Typ. Die hydrogeologischen Einheiten A8 und A9 enthalten Grundwässer mit verschiedenen Na-Ca-SO₄-HCO₃-Typkombinationen. In Hochlagen des Hutgesteins (A13) treten Grundwässer vom Ca-Na-SO₄-Cl- sowie Na-Ca-Cl-Typ auf. Oberhalb solcher Hochlagen sind die Grundwässer der hydrogeologischen Einheiten A6 und A5 (Oberkreide) sowie A3 und A1 (Quartär) stärker mineralisiert. Wenn in den tieferen Bereichen des Hutgesteins Grundwässer vorkommen, so sind es hoch konzentrierte Na-Cl-Lösungen.

Weferlinger Triasplatte (T):

Die hydrogeologischen Einheiten T1 bis T3 führen überwiegend Grundwasser vom Na-Ca-SO₄- und Na-Cl-SO₄-Typ.

Grundwasserneubildung

Die Ermittlung der Grundwasserneubildung im Bereich des ERAM (Kapitel 1.4.1) erfolgte mit verschiedenen Methoden, deren Ergebnisse übereinstimmen.

Die Grundwasserneubildung im unterirdischen Einzugsgebiet der Aller zwischen Alleringersleben und Schwanefeld für die Niederschlags-Jahresreihe 1971 bis 1994 betrug 85 mm/a.

Bewegung des Grundwassers

Das oberflächennahe Grundwasser steht mit den lokalen Vorflutern in hydraulischer Verbindung. Die großräumige Grundwasserbewegung im Modellgebiet ist naturgemäß von den morphologischen Hochlagen (Lappwaldscholle und Weferlinger Triasplatte) auf den Hauptvorfluter, die Aller, gerichtet. Die seitlichen Zuflüsse der Aller modifizieren das generelle Strömungsbild.

Die Höhenlage des Grundwasserspiegels (Grundwassergleichenplan) ist in Abb. 1.4-3 dargestellt. Die Bewegung des oberflächennahen Grundwassers erfolgt jeweils senkrecht zu den Grundwassergleichen in Richtung abnehmender Höhen-

lage. Sie ist in der Umgebung von fördernden Brunnen (z. B. Wasserwerk Helmstedt, das zum Zeitpunkt der Darstellung noch förderte) anthropogen beeinflusst.

Das tiefere Grundwasser bewegt sich in wasserleitenden hydrogeologischen Einheiten, die durch wasserhemmende Einheiten voneinander getrennt sind (Kapitel 1.4.2 und 1.4.3). Die Bewegung erhält ihren Antrieb durch die Hochlagen des Grundwasserspiegels in der Lappwaldscholle und der Weferlinger Triasplatte und das deutlich niedrigere Vorflutniveau der Aller. Von den hydraulisch wirksamen Eigenschaften der Schichten, ihrem räumlichen Bau, ihrer Klüftung und der salinitätsabhängigen Dichte des Wassers hängt ab, wie stark sich dieses Gefälle in den tieferen Untergrund auswirkt und dort zu einer Grundwasserbewegung führt. Eine messtechnische Erfassung der sehr langsamen Bewegung des Tiefengrundwassers ist in der Praxis nicht möglich. Die Bewegung des Tiefengrundwassers lässt sich daher nur aus hydraulischen Modellrechnungen ermitteln. Diese Rechnungen sind zum Nachweis der Langzeitsicherheit durchgeführt worden, die Ergebnisse werden in Kapitel 5.4.3 dargestellt.

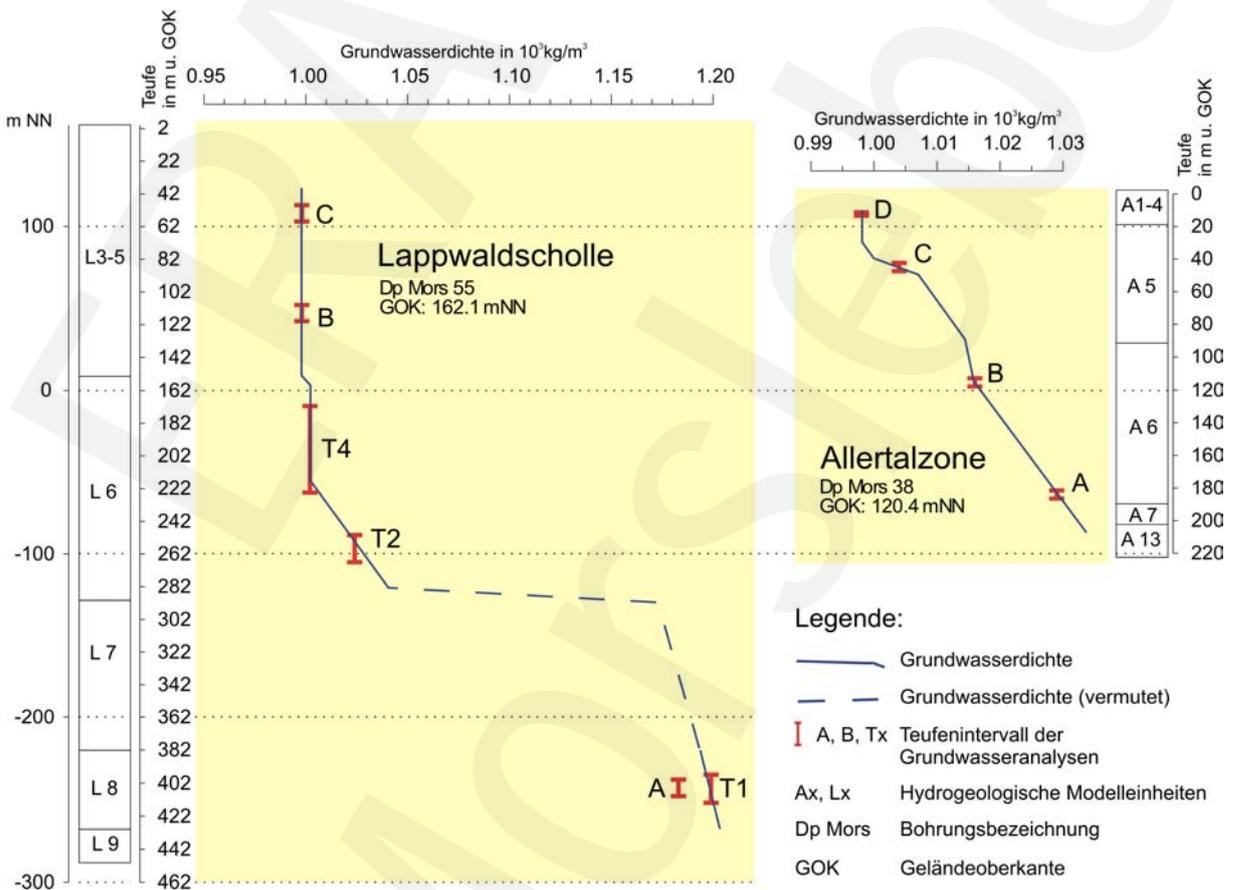


Abb. 1.4-2: Profile der Grundwasserdichte in je einer Bohrung auf der Lappwaldscholle und in der Allertalzone.

Legende:

-  Höhenlinie mit Angaben in m NN
-  Oberirdische Einzugsgebietsgrenze
-  Unterirdische Einzugsgebietsgrenze, bezogen auf
-  Abflussmessstellen der Aller (AO 1, AO 5, AO 6)
-  Grundwassergleiche (m NN) Stand September 1996
-  Grundwassergleiche (m NN) Stand April 2008
-  Wasserwerk-Brunnen 1996
-  Wasserwerk-Brunnen 2008
-  Grundwassermessstelle April 2008
-  engeres Untersuchungsgebiet
-  Schacht Marie (+129,1 m NN)
-  Schacht Bartensleben (+133,8 m NN)
-  Grubengebäude ERAM
-  schematische Darstellung der Salzstruktur im Bereich des ERAM

Maßstab:

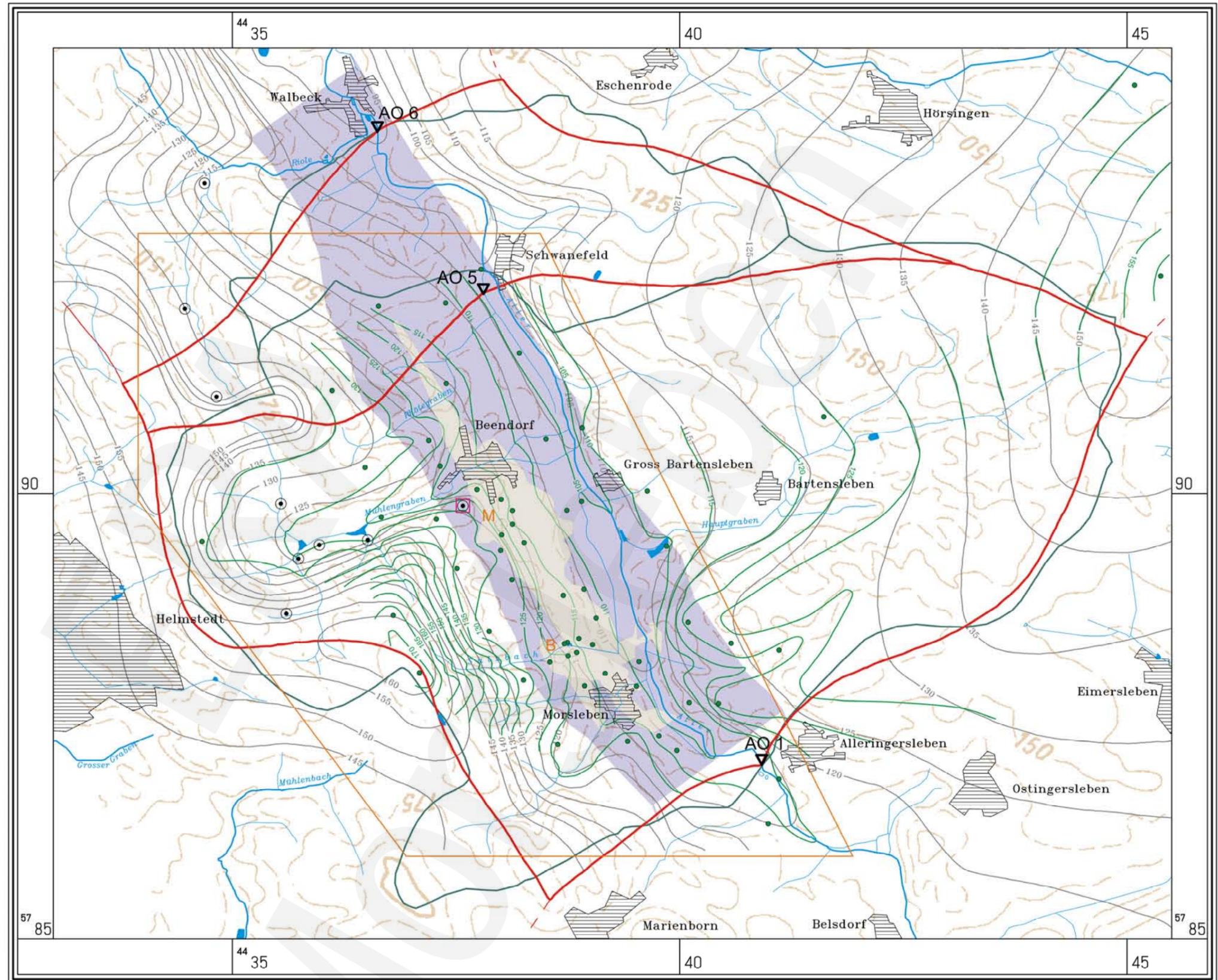
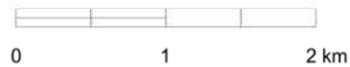


Abb. 1.4-3: Grundwassergleichenplan (Stand September 1996 mit Ergänzungen April 2008).

1.5 SEISMOLOGISCHE STANDORTVERHÄLTNISSE

Das ERAM liegt nach der erdbebengeographischen Einteilung Deutschlands (Abb. 1.5-1) in der Einheit „Altmark“. Diese zeichnet sich durch eine nur geringe Seismizität aus.

Als bestimmend für die Ermittlung der seismischen Gefährdung des Standorts erweist sich die tiefreichende Störungszone des Abbruchs von Haldensleben (siehe Abb. 1.3-3). Ihre letzte Bewegungsphase fand in der mittleren Oberkreide statt. Derzeit kann ihr keine nachweisbare seismische Aktivität zugeordnet werden. Dennoch wird der Abbruch von Haldensleben als potenzielle Herdregion von Erdbeben betrachtet.

Zur Ableitung der seismischen Gefährdung werden in Anlehnung an die sicherheitstechnische Regel KTA 2201.1 die im Umkreis von 210 km um den Standort erfassten tektonischen Erdbeben betrachtet. Nur wenige Ereignisse weisen schadenverursachende Epizentralintensitäten auf (Abb. 1.5-1). Die Herde dieser Erdbeben liegen zum überwiegenden Teil in den erdbebengeographischen Einheiten „Vogtland“ und „Zentral-Sachsen“.

Nach dem derzeitigen Kenntnisstand stellt das spärlich dokumentierte Erdbeben im Jahre 1346 mit einer Epizentralintensität $I_0 = VIII$ auf der MSK-Skala (EMS-98) das stärkste Ereignis im 210-km-Umkreis um den Standort dar. Sein Herd lag in der erdbebengeographischen Einheit „Vogtland“. Ebenfalls in dieser Einheit fand am 6. März 1872 das gründlich untersuchte Beben von Posterstein bei Gera/Thüringen statt. Dessen Epizentralintensität betrug $I_0 = VII-VIII$ (°MSK), wobei der Herd näher am Standort lag als das Ereignis von 1346. Die Einheit „Vogtland“ grenzt jedoch nicht an die Einheit „Altmark“. Erdbeben mit Herden in der Einheit „Vogtland“ weisen Entfernungen zum Standort auf, die für eine gefährdende Schütterwirkung zu groß sind.

In der Einheit „Altmark“ selbst sind in über 1.000 Jahren lediglich neun tektonische Erdbeben bekannt geworden. Alle blieben ohne Schadenswirkung. Maximal wurde die Epizentralintensität $I_0 = VI$ (°MSK) erreicht. Das Erdbeben von 1409 bei Magdeburg (das frühere „Prignitz-Erdbeben“) wird nach neueren Untersuchungen nicht mehr zu den schadenverursachenden Ereignissen gezählt.

In der Einheit „Nördliches Niedersachsen und Holstein“ sind als relevante Ereignisse die auf die Exploration vor Erdöl- und Erdgaslagerstätten zurückzuführenden Erdbeben von Soltau vom 02.06.1977 und Rotenburg (Wümme) vom 20.10.2004 mit einer Epizentralintensität von $I_0 = V-VI$ (°MSK) zu nennen.

Zusätzlich zu den tektonischen Erdbeben wurden bergbaulich bedingte Ereignisse betrachtet. Gebirgsschläge in Kalibergwerken innerhalb des Suchkreises um das ERAM wiesen Epizentralintensitäten $I_0 \geq VIII-IX$ auf der MSK-Skala auf. Aufgrund der geringen Herdtiefe klang die Schütterwirkung so schnell ab, dass sie am Standort nicht merklich verspürt wurde.

Das Bemessungserdbeben für den Standort wurde nach KTA 2201.1 unter Berücksichtigung der bekannt gewordenen tektonischen Ereignisse festgelegt. Bei der Bestimmung der Kenngrößen des Bemessungserdbebens wurde von der größten makroseismischen Intensität ausgegangen, die in der Einheit „Altmark“ bekannt geworden ist. Ein Intensitätszuschlag wurde vorgenommen.

Für das Bemessungserdbeben ergaben sich danach folgende Werte:

Intensität am Standort: $I = \text{VI-VII (°MSK)}$,

Jährliche Überschreitenswahrscheinlichkeit am Standort: $< 10^{-5}/a$,

Maximale Horizontalbeschleunigung über Tage: $a_{h,\max} = 1,13 \text{ m/s}^2$,

Maximale Vertikalbeschleunigung über Tage: $a_{v,\max} = 0,57 \text{ m/s}^2$,

Dauer der starken Bodenbewegung über Tage: $\Delta t = 4 \text{ s}$.

Die Bodeneigenschaften am Standort lassen keine unüblichen Verstärkungen seismischer Wellen erwarten. Die Gefahr der Bodenverflüssigung besteht am Standort nicht.

2 STILLLEGUNG

Das wichtigste Schutzziel (siehe Kapitel 2.2) für die Stilllegung eines Endlagers für radioaktive Abfälle ist der langzeitsichere Abschluss der eingelagerten radioaktiven Abfälle gegen die Biosphäre. Hierzu wurden für das ERAM entsprechende bauliche Stilllegungsmaßnahmen konzipiert. Durch die Gesamtheit der vorgesehenen Stilllegungsmaßnahmen werden die Abfälle im Salzgebirge sicher gegen die Biosphäre abgeschlossen, so dass es auch über lange Zeiträume nicht zu unzulässigen Freisetzungen von radioaktiven Stoffen und chemischen Schadstoffen kommen kann.

Zur Durchführung der Stilllegungsmaßnahmen werden die vorhandenen Betriebsanlagen zunächst auf die Anforderungen des Stilllegungsbetriebs umgerüstet. Danach werden schrittweise die Stilllegungsmaßnahmen zum langzeitsicheren Abschluss realisiert.

Das ERAM ist stillgelegt, wenn

- der Kontrollbereich verfüllt bzw. nicht mehr zugänglich ist,
- die Bohrungen soweit erforderlich abgedichtet,
- die Abdichtungen errichtet,
- die Versatzmaßnahmen abgeschlossen und
- die Schächte Bartensleben und Marie verfüllt sind.

Das ERAM wird dann als kerntechnische Anlage entwidmet und aus der atomrechtlichen Aufsicht entlassen.

Alle weiteren Maßnahmen und Aktivitäten zur endgültigen Einstellung des Betriebes als Bergwerk nach Abschlussbetriebsplan zur Beendigung der Bergaufsicht liegen außerhalb des hier beschriebenen Vorhabens „Stilllegung des ERAM“.

2.1 AUSGANGSSITUATION

Ausgangssituation ist das bestehende Endlager mit den vorhandenen Bauwerken und technischen Einrichtungen nach Umstellung auf den Offenhaltungsbetrieb und nach Umsetzung aller während des Offenhaltungsbetriebes vorgesehenen und notwendigen Maßnahmen. Alle Einrichtungen entsprechen dem geforderten Sicherheitsstandard.

Rechtliche Ausgangssituation:

Unter kerntechnischer Anlage im Sinne des § 9b AtG bzw. § 3 AtVfV wird das gesamte Grubengebäude Bartensleben, der übertägige Bereich Bartensleben innerhalb der äußeren Einfriedung der Anlage (Abb. 2.1-1), die Verbindungsstrecken zum

Schacht Marie, die Schachtröhre der Schachanlage Marie in deren Funktion als Flucht- und Abwetterweg, die Schachthalle (Schachthaus) und das Abwetterbauwerk auf der Schachanlage Marie (Abb. 2.1-2) verstanden.

2.1.1 Übertägige Anlagen

Schachanlage Bartensleben

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

Die vorhandenen Bauwerke und technischen Einrichtungen zum Zeitpunkt des Planfeststellungsbeschlusses sind aus Abb. 2.1-1 ersichtlich. Der kerntechnische Anlagenteil der Schachanlage Bartensleben ist rot umrandet.

Durch Bauwerke und innerbetriebliche Straßen und Plätze sind Flächen der kerntechnischen Anlage von ca. 38.000 m² (versiegelte und teilversiegelte Flächen) überbaut.

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

Die Elektroenergieversorgung erfolgt aus dem öffentlichen Energieversorgungsnetz auf der Spannungsebene 20 kV. Die Einspeisung erfolgt über drei voneinander unabhängige Versorgungsleitungen in die 20-kV-Schaltanlage. Hier wird auf eine Verteilerspannung von 6 kV bzw. 0,4 kV transformiert. Die Versorgung des Grubenbetriebes erfolgt über 6-kV-Schachtkabel zu untertägigen Verteilerstationen.

Der Fernsprechanschluss erfolgt über Amtsleitungen an das öffentliche Fernsprechnet. Die Schachanlage verfügt über eine automatische Fernsprechvermittlung. Die Fernsprechverbindung nach unter Tage erfolgt über Schachtfernmeldekabel. Zusätzlich werden bei Bedarf mobile Kommunikationseinrichtungen eingesetzt.

Die Wärmeversorgung erfolgt zentral von einem Heizwerk mit einer Gesamtnennwärmeleistung von 3.480 kW. Das Heizwerk wird mit leichtem Heizöl betrieben. Das Heizöl wird in zwei doppelwandigen Erdtanks mit einem Fassungsvermögen von je 80.000 l gelagert.

Die Wasserversorgung erfolgt über das öffentliche Trinkwassernetz. Das betriebliche Netz ist als Ringleitung DN 100 (DN = Nennweite bei Rohrleitungen) aufgebaut.

Zur Löschwasserversorgung existiert eine Löschwasserringleitung DN 150, die aus zwei Löschwasserbecken (gesamtes Volumen 220 m³) über Pumpen gespeist wird. Die Wassernachspeisung der Löschwasserbecken erfolgt aus dem Trinkwassernetz. Außerdem kann Löschwasser aus dem Feuerlöschteich (ca. 270 m³) entnommen werden.

Die konventionellen Abwässer werden über einen Sammler (Kanalisation) 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 Kraftstoffversorgung der Betriebsfahrzeuge mit Dieselmotorkraftstoff erfolgt über eine betriebseigene Betankungsanlage mit einem Vorratsvolumen von 10.000 l. Zur Versorgung der unter Tage eingesetzten Fahrzeuge werden mobile Tankbehälter an der Betankungsanlage gefüllt und nach unter Tage transportiert.

Grubenwetter werden über das Wetterbauwerk am Mehrzweckgebäude zu- bzw. abgeleitet. Das Bewetterungssystem wird unter Kapitel 2.1.2 dargestellt.

Schachtanlage Marie

Die vorhandenen Anlagen entsprechen den Erfordernissen der Nutzung als Flucht- und Wetterweg für das ERAM und, wie die Anlagen der Schachtanlage Bartensleben, dem geforderten Sicherheitsstandard.

Die vorhandenen Bauwerke und technischen Einrichtungen zum Zeitpunkt des Planfeststellungsbeschlusses sind aus Abb. 2.1-2 ersichtlich. Das Schachtgelände der Anlage Marie ist farblich hinterlegt.

Durch Bauwerke und innerbetriebliche Straßen und Plätze sind Flächen von insgesamt rund 11.000 m² überbaut (versiegelt).

Die Straßenanbindung erfolgt über die Gemeindestraßen „Rundahlsweg“ und „Mittelweg“ an die L 41.

Die Elektroenergieversorgung erfolgt über das öffentliche Energieversorgungsnetz auf der Spannungsebene 20 kV. Innerbetrieblich wird auf eine Verteilerspannung von 6 kV bzw. 0,4 kV transformiert. Die Versorgung des Grubenbetriebes erfolgt über 6-kV-Schachtkabel zur untertägigen Verteilerstation.

Der Fernsprechanschluss erfolgt über die Schachtanlage Bartensleben an das öffentliche Fernsprechnet. Die Fernsprechverbindung nach unter Tage erfolgt über Schachtfernmeldekabel. Zusätzlich werden bei Bedarf mobile Kommunikationseinrichtungen eingesetzt.

Die Wärmeversorgung erfolgt durch eine gasbetriebene Heizanlage mit 320 kW Nennwärmeleistung.

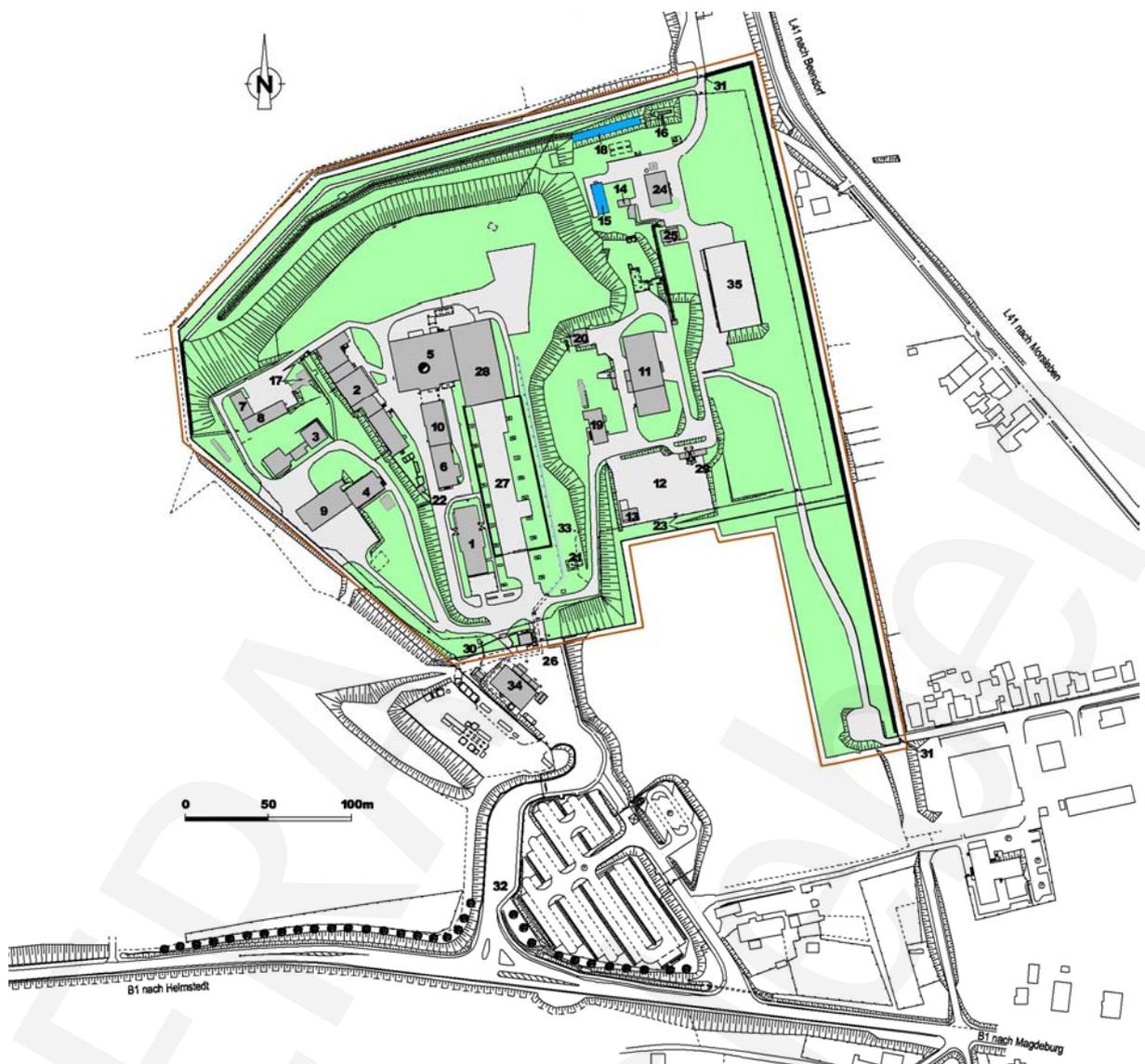
Die Wasserversorgung erfolgt über das öffentliche Trinkwassernetz.

Zur Löschwasserversorgung sind auf dem Betriebsgelände drei Feuerlöschhydranten vorhanden. Zwei werden über die Trinkwasserleitung versorgt. Der dritte Anschluss befindet sich an der Zisterne für Grubenwasser mit einem Fassungsvermögen von 80 m³.

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.

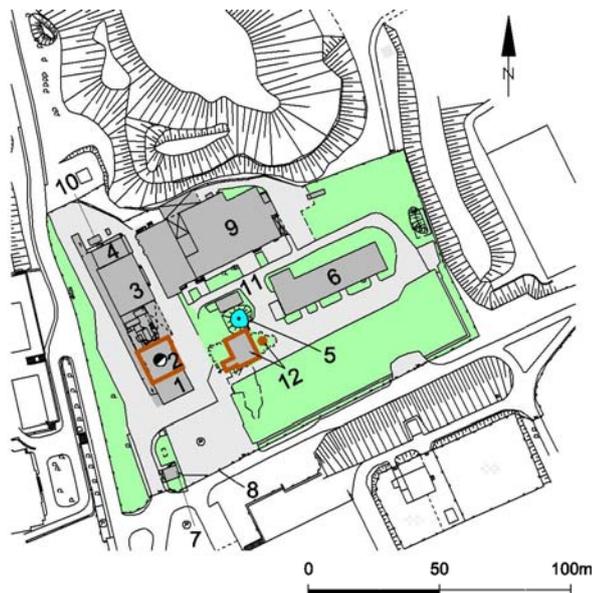
Schachtwässer werden gesammelt und nach über Tage in die Zisterne gepumpt. Von dort werden die Wässer bei Bedarf, wie die Niederschlagswässer, über die kommunale Regenwasserkanalisation in die Aller geleitet.

Grubenwetter verlassen Schacht Marie über das Abwetterbauwerk.



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

Abb. 2.1-1: Schachanlage Bartensleben, übertägige Anlagen.



- | | | | |
|----|-------------------------------|--|--|
| 1 | Umladehalle | | Bauwerke |
| 2 | Schachthalle mit Fördergerüst | | innerbetriebliche Straßen und Plätze |
| 3 | Fördermaschinengebäude | | Grünflächen und sonstige nicht versiegelte Flächen |
| 4 | Trafo-/Schaltstation | | wasserführende Anlagen |
| 5 | Zisterne | | kerntechnische Anlage |
| 6 | Werkstatt | | |
| 7 | Wachhaus | | |
| 8 | Einfriedung | | |
| 9 | Sozialgebäude | | |
| 10 | Heizcontainer | | |
| 11 | Garagen | | |
| 12 | Abwetterbauwerk | | |

Abb. 2.1-2: Schachtanlage Marie, übertägige Anlagen.

2.1.2 Grubengebäude

Die Grubengebäude der Schachtanlagen Bartensleben und Marie (siehe Abb. 2.1-3) sind durch die beiden Schächte „Bartensleben“ und „Marie“ von der Tagesoberfläche aus erschlossen und durch Verbindungsstrecken im Niveau der -291 m-Sohle und der -332 m-Sohle miteinander verbunden. Die Tab. 2.1-1 zeigt eine Auflistung der Sohlen in den Gruben Bartensleben und Marie.

Im Grubengebäude Bartensleben befinden sich die Einlagerungsbereiche auf der -372 m-Sohle (4. Sohle), der -346 m-Sohle (4a-Sohle) und der -395 m-Sohle (5a-Sohle). Für das ERAM ist kein Überwachungsbereich festgelegt. Der Kontrollbereich (Abb. 3.1-2) umfasst folgende Bereiche: -372 m-Sohle (4. Sohle), mit Ausnahme des schachtnahen Bereichs, und -346 m-Sohle (4a-Sohle) sowie -420 m-Sohle (5. Sohle) bis -500 m-Sohle (7. Sohle).

Tab. 2.1-1: Gliederung der Sohlen in den Grubengebäuden Bartensleben und Marie.

Bezeichnung	Niveau-nummer	Niveau	Bemerkung	Bartensleben	Marie
-185 m-Sohle	01	-185 m NN			1b-Sohle
-195 m-Sohle	02	-195 m NN			
-205 m-Sohle	03	-205 m NN			
-210 m-Sohle	04	-210 m NN			1a-Sohle
-215 m-Sohle	05	-215 m NN			
-225 m-Sohle	06	-225 m NN			
-231 m-Sohle	07	-231 m NN	Hauptfördersohle Marie		1. Sohle
-245 m-Sohle	08	-245 m NN		1a-Sohle	
-253 m-Sohle	09	-253 m NN	Hauptsohle	1. Sohle	2. Sohle
-267 m-Sohle	10	-267 m NN		2a-Sohle	
-280 m-Sohle	11	-280 m NN			
-291 m-Sohle	12	-291 m NN	Hauptsohle	2. Sohle	
-305 m-Sohle	13	-305 m NN		3a-Sohle	
-315 m-Sohle	14	-315 m NN			
-332 m-Sohle	15	-332 m NN	Hauptsohle	3. Sohle	
-346 m-Sohle	16	-346 m NN		4a-Sohle	
-372 m-Sohle	17	-372 m NN	Hauptsohle Hauptfördersohle Bartensleben	4. Sohle	
-395 m-Sohle	18	-395 m NN		5a-Sohle	
-420 m-Sohle	19	-420 m NN		5. Sohle	
-443 m-Sohle	20	-443 m NN		6a-Sohle	
-475 m-Sohle	21	-475 m NN		6. Sohle	
-500 m-Sohle	22	-500 m NN		7. Sohle	

Die Versorgung der Grubengebäude mit Frischwettern erfolgt über Schacht Bartensleben mit einer einziehenden Gesamtwettermenge von bis zu 4.570 m³/min. Die Wetter werden mit Hilfe von Ventilatoren und Wetterleiteinrichtungen entsprechend dem Bedarf im Grubengebäude verteilt. Ein Teil der Abwetter (bis zu 1.900 m³/min) zieht im Schacht Bartensleben luttengeführt aus. Die restlichen Wetter ziehen über die Verbindungsstrecken in das Grubengebäude Marie und über Schacht Marie aus.

Die vorhandenen Grubengebäude wurden ausschließlich im Salzgebirge aufgefahren und im Generalstreichen der Salzlagerstätte ausgerichtet. Sie erstrecken sich über insgesamt etwa 5,6 km in dieser Richtung. Die größte querschlägige Ausdehnung beträgt etwa 1,7 km und liegt im Grubengebäude Bartensleben. Das aufgefahrene Hohlraumvolumen beträgt etwa 8,7 Mio. m³. Neben anderen Versatzmaßnahmen wurden im Zuge der bergbaulichen Gefahrenabwehrmaßnahme im Zentralteil (bGZ)

Grubenbaue mit Salzbeton verfüllt. Zum Zeitpunkt des Planfeststellungsbeschlusses werden ca. 5,4 Mio. m³ Hohlraum unversetzt offen stehen. Hiervon befinden sich ca. 4,3 Mio. m³ im Grubengebäude Bartensleben und ca. 1,1 Mio. m³ im Grubengebäude Marie (Tab. 2.6-1).

Das Grubengebäude Marie reicht an einer Stelle bis ca. 32 m an den Salzspiegel heran. Im Grubengebäude Bartensleben beträgt die geringste Distanz zum Salzspiegel ca. 66 m. Der Abstand der Grubengebäude zum benachbarten Bergwerk Walbeck-Buchberg im Norden beträgt ca. 2,8 km (siehe Abb. 1.1-2).

Im Grubengebäude Bartensleben wurden vier Hauptsohlen mit einem vertikalen Abstand von ca. 40 m untereinander aufgefahren (siehe auch Tab. 2.1-1):

- 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).

Vom Schacht aus wurden auf allen Hauptsohlen Querschläge vorzugsweise nach Osten aufgefahren. Im Bereich der Kalilager wurde dann die Kalisalzgewinnung nach Süden und Norden entwickelt. Die angetroffenen Kalilager sind überwiegend steilstehende Flöze mit einer Mächtigkeit zwischen 2 m und 8 m. Der Abbau erfolgte von unten nach oben und folgte der Lagerstätte, soweit sie bauwürdig war. Kalisalz wurde auch im Unterwerksbau von der -475 m-Sohle (6. Sohle) aufwärts abgebaut. Die entstandenen Abbauhohlräume sind größtenteils versetzt.

Nach Aufgabe der Kalisalzgewinnung erfolgte die Steinsalzgewinnung. Dazu wurden ausgehend von den Hauptquerschlägen in den abbauwürdigen Lagerstättenteilen Abbaustrecken aufgefahren. Sie folgen weitgehend dem unregelmäßigen Verlauf der Lagerstätte und verlaufen damit im Generalstreichen der Lagerstätte näherungsweise parallel zu den Kalilagern. Von den Abbaustrecken aus erfolgte die Steinsalzgewinnung. Zur Begrenzung der Abbauhöhen wurden zwischen den Hauptsohlen Zwischensohlen angelegt. Die durch die Steinsalzgewinnung geschaffenen Hohlräume sind überwiegend unversetzt und haben in der Regel Abmessungen von ca. 100 m Länge, 30 m bis 35 m Breite und ca. 15 m Höhe. Im Einzelfall sind auch Abbauhohlräume vorhanden, die 140 m Länge, 40 m Breite und 45 m Höhe erreichen. Die Abbauhohlräume sind, insbesondere im Zentralteil der Lagerstätte, teilweise kettenartig hintereinander im Generalstreichen angeordnet. Im Unterwerksbau unterhalb der untersten Hauptsohle (-420 m-Sohle (5. Sohle), -475 m-Sohle (6. Sohle) und -500 m-Sohle (7. Sohle)) hat Steinsalzabbau nur im Südfeld in geringerem Umfang stattgefunden. Es sind nur wenige Abbaue entstanden.

Grubenbaue unterschiedlicher Sohlen sind durch zahlreiche Gesenke und Rolllöcher miteinander verbunden.

Die Einlagerungsbereiche befinden sich auf der -372 m-Sohle (4. Sohle), der -346 m-Sohle (4a-Sohle) und der -395 m-Sohle (5a-Sohle).

Im Grubengebäude Marie wurde im Schacht ca. 45 m unterhalb des Salzspiegels ein Füllort aufgefahren, aber nicht zu einer Hauptsohle entwickelt. Die erste Hauptsohle befindet sich als „360 m-Sohle“ im Niveau -231 m NN. Nach der querschlägigen Ausrichtung nach Ostnordost und Westsüdwest erfolgte die Auffahrung von Richtstrecken nach Nordnordwest und Südsüdost. Von den Richtstrecken wurde dann die Lagerstätte durch Auffahren weiterer Querschläge in Abständen zwischen 100 m und 600 m nach Westen und Osten weiter erschlossen. Eine zweite Hauptsohle ist als „500 m-Sohle“ im Niveau -372 m NN angelegt. Sie wurde jedoch als Abbausohle nicht mehr in Betrieb genommen und ist heute mit Lösung gefüllt. Die Ableitung dieser Lösung zur 500 m-Sohle begann 1945 infolge fehlender bzw. unvollständiger Wasserhaltung im Schacht Marie. Bis zur Mitte der 1960er Jahre ist der größte Teil der 500 m-Sohle vollgelaufen. Die endgültige Füllung bis zur Firste erfolgte zwischen 1975 und Ende 1981 durch Spül- und Reinigungswässer der untertägigen Hähnchenmast. Insgesamt standen Anfang 2008 ca. 19.000 m³ Lösung auf der 500 m-Sohle. Im Rahmen der bergbaulichen Gefahrenabwehr im Zentralteil (bGZ) für die Grube Bartensleben wurde diese Lösung ab Mitte 2008 für die Herstellung von Salzbeton genutzt. Der lösungsgefüllte Bereich hat keine Verbindung zum Grubengebäude Bartensleben.

Der Abbau der steilstehenden Kaliflöz erfolgte wie in Bartensleben. Die entstandenen Abbauhohlräume sind größtenteils versetzt. In verschiedenen Sohlen- und Zwischensohlenniveaus sind Abbau-Begleitstrecken, die aus abbautechnischen Gründen neben dem Flöz im Steinsalz aufgefahren wurden, vorhanden.

Die Steinsalzgewinnung wurde zeitlich parallel zur Kalisalzgewinnung betrieben. Sie fand sohleengebunden in den Niveaus der -231 m-Sohle und der -267 m-Sohle statt. Die Kammern haben bis zu 100 m Länge, 20 m Breite und 6 m bis 8 m Höhe. Die dazwischenliegenden Pfeiler sind ca. 6 m breit. Die Ausdehnung des Steinsalz-Abbaufeldes beträgt insgesamt nur etwa 200 m x 300 m.

Im Zuge der Nutzung des Grubengebäudes für die Rüstungsproduktion während des zweiten Weltkrieges wurden entlang der Hauptstrecken auf der -231 m-Sohle ca. 150 Kammern mit Abmessungen von ca. 22 m x 18 m x 2,5 m mit einem Abstand von etwa 20 m zueinander angelegt.

Auch im Grubengebäude Marie sind die Grubenbaue auf unterschiedlichen Sohlen wie in Bartensleben durch Gesenke und Rolllöcher miteinander verbunden.

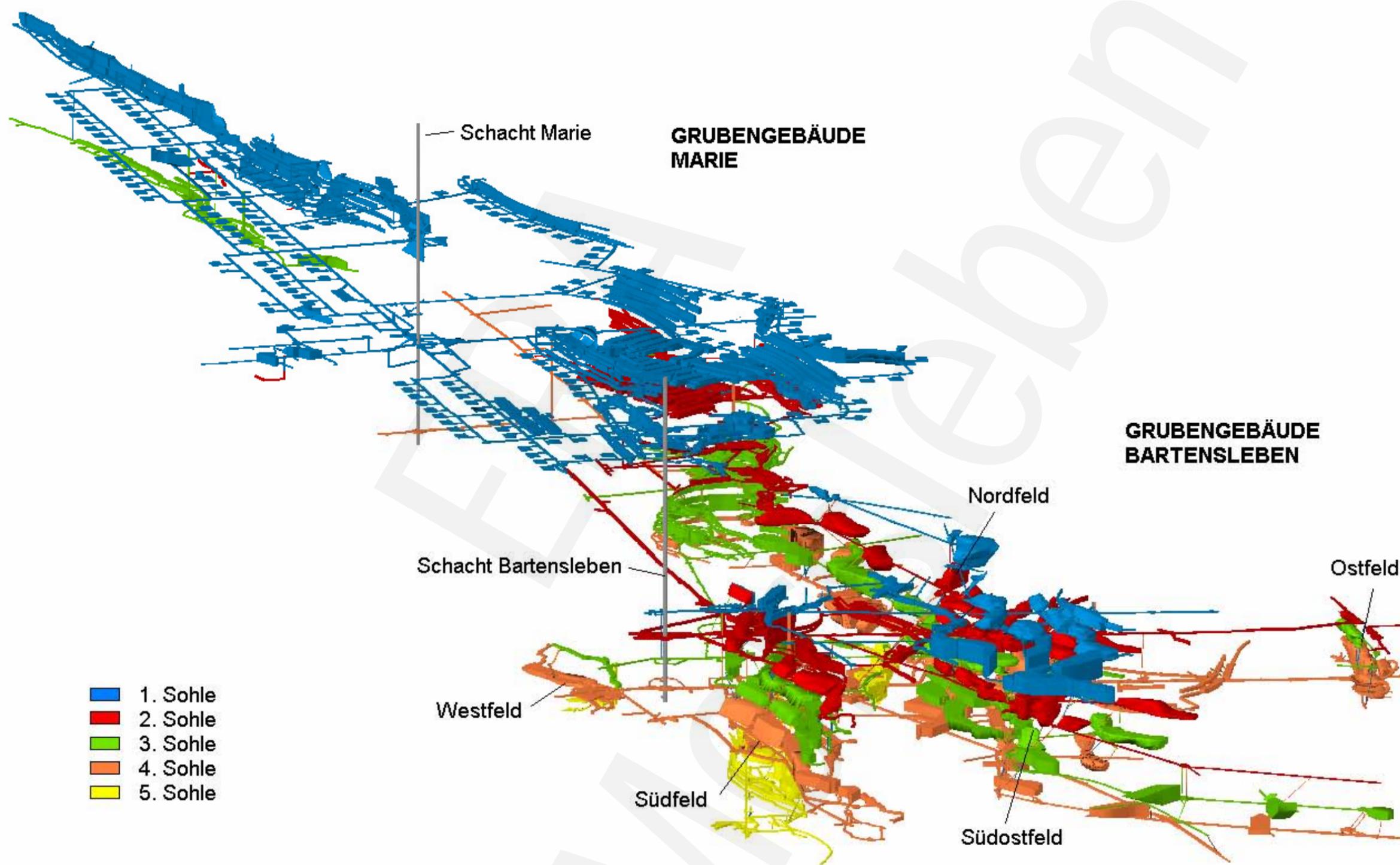


Abb. 2.1-3: Grubengebäude Bartensleben und Marie, Ansicht etwa von Süd nach Nord.

2.1.3 Geomechanik

Der geomechanische Zustand und die Standsicherheit der Grubengebäude zum Zeitpunkt des Planfeststellungsbeschlusses werden mit Hilfe von Befunden aus gebirgsmechanischen, markscheiderischen (geodätischen) und geophysikalischen Überwachungsmessungen (Spannungen, Verformungen, Temperaturen usw.), aufgrund bergmännischer Erfahrungen und durch Modellrechnungen bewertet. Die geomechanischen Modelle basieren auf den geologischen Gegebenheiten (Kapitel 1.3), der Geometrie der Grubenbaue der vorhandenen Grubengebäude und den ermittelten geomechanischen Daten aus den durchgeführten Labormessungen und In-situ-Messungen im Rahmen von Erkundungsprogrammen.

Labor-/In-situ-Messungen und bergmännische Beobachtungen

In ungestörten Salzgesteinen herrscht überwiegend ein allseitig gleicher (hydrostatischer) Spannungszustand, der sogenannte Primärspannungszustand. Die Größe der Spannung nimmt mit der Teufe aufgrund des zunehmenden Gewichtes der überlagernden Schichten zu.

Durch die Erstellung von Grubenbauen kommt es in ihrer Umgebung zu lokalen Änderungen des Spannungszustandes. Art und Reichweite dieser Veränderungen sind von den Materialeigenschaften des Gebirges, von der Form und Größe der Grubenbaue und dem Einfluss benachbarter Grubenbaue abhängig.

Die Primärspannungszustände und Veränderungen der Spannungszustände im Bereich des ERAM sind an verschiedenen Orten in unterschiedlicher Teufe gemessen worden, um die geomechanischen Modelle für die Berechnungen erstellen und kalibrieren zu können.

Die unter Tage gemessenen Verformungen von Grubenbauen sind im ERAM gering und liegen in der Regel unter 1 mm/a. Sie werden an zahlreichen Stellen gemessen und dienen neben der Überwachung der Grubengebäude der Überprüfung der Modellrechnungen. Diese Messungen werden bis zum Verschluss der jeweiligen Grubenbaue weitergeführt.

Senkungen an der Tagesoberfläche sind gering. Regelmäßig durchgeführte Nivellements ergaben über die letzten 25 Jahre einen Senkungsbetrag von maximal 15 mm.

Die anzutreffenden Rissbildungen, Auflockerungen des Gesteins sowie Gesteinsablösungen an den Stößen und der Firste der Grubenbaue sind für ein ca. 100 Jahre altes Salzbergwerk vergleichsweise gering. Lokal begrenzt (z. B. im Südfeld und Zentralteil) sind größere Gesteinsablösungen (sogenannte Löser) aufgetreten. Es erfolgt regelmäßig eine berg- und standsicherheitliche Bewertung der Grubenbaue.

Durch technische (z. B. Berauben) und administrative (z. B. Sperren von Abbauen) Maßnahmen wird gewährleistet, dass die Gruben sicher befahren werden können.

Die Festigkeitseigenschaften und das Materialverhalten der verschiedenen in den Grubengebäuden anstehenden Salzgesteine wurden in Laborversuchen ermittelt. Das Materialverhalten wurde nach dem Stand von Wissenschaft und Technik durch Stoffgesetze beschrieben. Die überwiegend aus Anhydrit bestehenden Gesteine (Hauptanhydrit und Hutgestein) weisen bis zum Bruch fast ausschließlich elastisches Verhalten auf, während die eigentlichen Salzgesteine (Steinsalz, Kalisalz) durch ausgeprägtes zeitabhängiges Verformungsverhalten (Kriechen) gekennzeichnet sind. In den Modellrechnungen werden Gesteine mit ähnlichen Eigenschaften zu Homogenbereichen zusammengefasst und mit einheitlichen Parametern versehen.

Geomechanische Modellrechnungen

Die Berechnung von Spannungen und Verformungen erfolgt durch Modellrechnungen nach der Finite-Elemente-Methode und Finite-Differenzen-Methode. Dazu werden die Grubenbaue und das sie umgebende Salzgestein durch zweidimensionale oder auch durch dreidimensionale (z. B. bei komplizierten geometrischen Verhältnissen) gebirgsmechanische Modelle idealisiert.

Mit den Modellen wird, ausgehend von einem ungestörten teufenabhängigen Spannungszustand (Primärspannungszustand), die Auffahrung der Grubenbaue in ihrer zeitlichen Reihenfolge simuliert und die Veränderung des Spannungszustandes sowie die Entwicklung von Verformungen bis heute und für einige Jahrzehnte in die Zukunft berechnet. Durch Variation einzelner Parameter wird deren Einfluss auf die Ergebnisse ermittelt. Durchgeführte Versatzmaßnahmen werden in den Modellen berücksichtigt. Die Auswirkungen auf die Spannungs- und Verformungszustände werden somit erfasst.

Die Modellrechnungen liefern aufgrund konservativ gewählter Randbedingungen (z. B. zweidimensionale Modellierung) Ergebnisse, die ungünstiger sind als die tatsächlich auftretenden Beanspruchungszustände des Gebirges. Die prognostizierten Spannungs- und Verformungszustände sind damit abdeckend.

Modellrechnungen wurden für die Grubenbereiche West-, Süd-, Nord- und Ostfeld und den Bereich mit dem höchsten Durchbaugrad (Zentralteil Bartensleben) sowie für ausgewählte Bereiche im Grubengebäude Marie durchgeführt.

Der Vergleich von Berechnungsergebnissen mit In-situ-Messungen ergibt unter Berücksichtigung der Konservativität der Modellrechnungen eine gute Übereinstimmung. Aus diesem Grunde sind die gebirgsmechanischen Modellrechnungen für den Nachweis der Standsicherheit der Grubenbaue geeignet.

Alle Berechnungen führen zu dem Ergebnis, dass die Grubenbereiche großräumig standsicher sind. Einzelne Gesteinsablösungen im First- und Stoßbereich in hochbeanspruchten Grubenbauen insbesondere im Südfeld und Zentralteil Bartensleben sind jedoch nicht auszuschließen. Sie sind im Bergbau nicht ungewöhnlich und haben keinen Einfluss auf die großräumige Standsicherheit der Grubenbereiche.

2.1.4 Radioaktive Abfälle im ERAM

Im Dezember 1971 begann im ehemaligen Salzbergwerk Bartensleben eine Vorab-einlagerung radioaktiver Abfälle. Diese erste probeweise Einlagerung von radioaktiven Abfällen in den Jahren 1971/72 umfasste ausschließlich Abfälle, die aus dem Zwischenlager Lohmen (ehemalige Außenstelle des Staatlichen Amtes für Atomsicherheit und Strahlenschutz - SAAS) geliefert wurden. Dort wurden Abfälle aus Forschung, Medizin und Industrie aus der DDR bis zur Inbetriebnahme des ERAM gesammelt und z. T. bearbeitet. Seit der Aufnahme des Einlagerungs-betriebes im ERAM im Jahr 1978 bis zu seiner Unterbrechung im Jahr 1991 durch einen gerichtlichen Bescheid wurden überwiegend radioaktive Abfälle aus den beiden KKW Greifswald und Rheinsberg, dem Zwischenlager in Lohmen sowie aus dem Zentralinstitut für Kernforschung (ZfK) Rossendorf eingelagert.

Seit dem 3. Oktober 1990 ist das BfS Genehmigungsinhaber für den Betrieb und Betreiber des ERAM. Im Februar 1991 untersagte das Bezirksgericht Magdeburg mit einer einstweiligen Anordnung die Endlagerung im ERAM, wodurch der Einlagerungsbetrieb vorübergehend unterbrochen wurde. Durch das Urteil vom 25. Juni 1992 des Bundesverwaltungsgerichtes ist bestätigt worden, dass die Fortgeltung der Genehmigung – abgesehen von der damaligen Befristung auf den 30.06.2000 – inhaltlich nicht eingeschränkt ist und dass die Fortführung des Betriebes im Rahmen der Dauerbetriebsgenehmigung (DBG) gestattet ist. Vor dem Hintergrund dieses Urteils und nach Abschluss umfangreicher Sicherheitsprüfungen hat das BfS am 13. Januar 1994 den Einlagerungsbetrieb wieder aufgenommen.

Mit Beschluss vom 25. September 1998 hat das Obergerverwaltungsgericht Magdeburg dem BfS die weitere Einlagerung radioaktiver Abfälle im Ostfeld des ERAM bis zur rechtskräftigen Entscheidung im Hauptsacheverfahren untersagt. Das BfS setzte die Annahme und Einlagerung radioaktiver Abfälle daraufhin insgesamt aus. Am 21. April 2001 erklärte das BfS gegenüber MLU und LAGB den unwiderruflichen Verzicht auf die weitere Annahme und Endlagerung radioaktiver Abfälle im ERAM.

Im ERAM sind niedrig- und mittelradioaktive Abfälle mit überwiegend kurzlebigen Radionukliden aus

- dem Betrieb von Kernkraftwerken (KKW),
- der Stilllegung von kerntechnischen Anlagen,

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

endgelagert. Weiterhin sind bereits betriebliche radioaktive Abfälle des ERAM endgelagert worden. Die unterschiedlichen Rohabfälle waren so verarbeitet, dass sie bei ihrer Anlieferung im ERAM die Anforderungen an die endzulagernden radioaktiven Abfälle erfüllten und endgelagert wurden.

Die während der Stilllegung noch anfallenden betrieblichen radioaktiven Abfälle sollen im ERAM endgelagert werden.

Die Erfassung und Endlagerung der radioaktiven Abfälle im ERAM erfolgte bis 1991 nach den Festlegungen in der Dauerbetriebsgenehmigung vom 22.04.1986 und im Fachbereichstandard "Zentrale Erfassung radioaktiver Abfälle" (hier: TGL 190-921/01 bis 05). Nach 1994 basierten die Anforderungen an die im ERAM endzulagernden radioaktiven Abfälle auf den weiterhin gültigen Festlegungen in der Dauerbetriebsgenehmigung und im Fachbereichstandard sowie den Ergebnissen der fortgeführten sicherheitsanalytischen Untersuchungen, was zusammen in die Endlagerungsbedingungen "Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle und Maßnahmen zur Produktkontrolle radioaktiver Abfälle – Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM)" umgesetzt wurde. Neben speziellen Anforderungen waren von allen Abfällen Grundanforderungen zu erfüllen. So durften die Abfallprodukte z. B.

- nicht faul- und gärfähig sein,
- keine Gase entwickeln,
- keine chemisch stark reaktionsfähigen Stoffe enthalten und
- keine Gifte sein.

Die Abfallverursacher hatten vor der Ablieferung nachzuweisen, dass die radioaktiven Abfälle den Anforderungen entsprachen. Die Einhaltung der Endlagerungsbedingungen wurde für die ab 1994 eingelagerten Abfälle nach den vom BfS festgelegten Maßnahmen vor der Anlieferung an das Endlager im Rahmen der Produktkontrolle überprüft. Im Prozess der Produktkontrolle der zur Einlagerung vorgesehenen radioaktiven Abfälle wurde die Endlagerbarkeit mit dem Ziel der Freigabe zur Endlagerung beurteilt. Von 1994 bis 1998 wurden nur zur Endlagerung freigegebene Abfälle eingelagert. Im Zeitraum von 1971 bis 1991 wurden Abfälle eingelagert, die den damals geltenden, in Fachbereichstandards festgelegten Anforderungen genügten. Die Einhaltung wurde von der damaligen Aufsichtsbehörde (SAAS) kontrolliert.

Die derzeit noch zwischengelagerten Abfälle im Untertage-Messfeld (UMF) und im Ostfeld befinden sich in Spezialcontainern, die ebenfalls sowohl vom konstruktiven

Aufbau her als auch von den Inhaltsstoffen (größtenteils umschlossene Strahlenquellen) die Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle erfüllen.

Die Einlagerungsgrubenbaue sind in Abb. 2.1-4 dargestellt. Im Folgenden werden die radioaktiven Abfälle, die im ERAM end- und zwischengelagert sind, beschrieben. Aus der Zeit vor dem Übergang des ERAM in die Zuständigkeit des Bundes stammen auch mehrere Behälter mit radioaktiven Stoffen, die im ERAM lediglich zwischengelagert sind. Teilweise wurden diese radioaktiven Stoffe im UMF für Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Erprobung neuer Endlagerungstechnologien eingesetzt.

Die endgelagerten radioaktiven Abfälle sind in der Regel in standardisierten Behältern, z. B. in 200-l- bis 570-l-Fässern und in zylindrischen Betonbehältern, verpackt. Bestimmte Abfälle, wie z. B. sperrige Abfälle oder Filter, sind in Sonderverpackungen endgelagert. Zu einem sehr geringen Teil sind die Abfälle unverpackt endgelagert worden.

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) verstürzt.
- Ebenfalls im Südfeld wurden von der -372 m-Sohle (4. Sohle) aus niedrigradioaktive flüssige Abfälle in die Abbaue 2 und 3 der -395 m-Sohle (5a-Sohle) 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 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 Abfalldaten der end- und zwischengelagerten radioaktiven Abfälle sind dokumentiert und archiviert. Für die Abfälle, die bis 1991 eingelagert wurden, befinden sich die Originale der Übergabe-/Übernahmeprotokolle (Abfalldatenblätter) im Archiv des ERAM. Die Originale der Abfalldatenblätter für die im Zeitraum 1994 bis 1998 eingelagerten radioaktiven Abfälle werden im BfS aufbewahrt. Daneben wurden die Daten der eingelagerten Abfälle sowohl im ERAM als auch im BfS rechnergestützt erfasst.

Im ERAM sind insgesamt 36.754 m^3 niedrig- und mittelradioaktive Abfälle und einige 100 m^3 betriebliche radioaktive Abfälle end- und zwischengelagert. Die Gesamt-

aktivität 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.

In der Tab. 2.1-2 ist eine Übersicht über die Einlagerungsgrubenbaue und deren Lage gegeben. Weiterhin sind die Volumina der in den jeweiligen Grubenbauen eingelagerten radioaktiven Abfälle aufgeführt. Das Volumen des im Ostfeld zwischengelagerten Radiumfasses sowie der in den Sohlenbohlöchern im UMF zwischengelagerten Spezialcontainer ist im Vergleich zu dem der übrigen Abfälle gering (ca. $0,3 \text{ m}^3$).

Tab. 2.1-2: Einlagerungsgrubenbaue für radioaktive Abfälle im ERAM.

Einlagerungs- bereich	Sohle	Einlagerungsgrubenbaue	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	Sohlenbohlöcher	ca. 0,03

Außerhalb der Einlagerungsgrubenbaue gab es im Westfeld zwei Versuchsorte (Versuchsbereiche), in denen 1982 probeweise ca. $0,1 \text{ m}^3$ niedrigradioaktive flüssige Abfälle mit Braunkohlenfilterasche verfestigt und mit Beton überdeckt dort belassen wurden. Die Versuchsorte sind in der Abb. 2.6-3 dargestellt.

Abfallbeschreibungen

Im Folgenden werden die im ERAM endgelagerten Abfälle der einzelnen Verursacherguppen näher beschrieben.

Abfälle aus Kernkraftwerken

Die Abfälle aus Kernkraftwerken lassen sich im Wesentlichen als flüssige Abfälle (Verdampferkonzentrate und Abwässer wie schmutzige Kondensate, Gullywässer, Wäscherei-, Beiz- und Dekontaminationsabwässer) und feste Abfälle (verfestigte Verdampferkonzentrate, Filterkonzentrate, Schlämme sowie Mischabfall, Sekundärabfall, Schrott, Bauschutt, zementierte Abfälle, getrocknete Abfälle sowie Aerosolfilter und sperrige Anlagenteile und Geräte) charakterisieren.

Die Mischabfälle wurden hochdruckverpresst, vorverpresst (mit geringerem Druck) oder auch unverpresst verpackt. Fässer mit hochdruckverpressten Mischabfällen enthielten drei bis fünf Presslinge.

Als Abfallbestandteile in Mischabfällen wurden von den Abfallverursachern beispielhaft genannt: Textilien, Papier, Holz, PVC, PE, Gummi, Kabel, Filter, Schläuche, Schrott, Bleche, Draht, Armaturen, Werkzeug, Strahlgut, Glas, Schlamm, Staub, Glas- und Steinwolle, Bauschutt, asbesthaltige Materialien, Aktivkohle.

Schrott wurde bis 1991 im Wesentlichen unverpresst, in Fässern verpackt, endgelagert. Ab 1994 gelangte Schrott als hochdruckverpresster oder unverpresster Abfall (Bleche, Rohre, Armaturenteile, Turbinenteile, Werkzeug, Stahlseile, Draht u. a.) in Fässern verpackt zur Endlagerung.

Bei Baumaßnahmen fielen relativ große Mengen an Bauschutt an, die im gesamten Einlagerungszeitraum unverpresst in Abfallbehältern verpackt endgelagert wurden. Bestandteile waren im Wesentlichen Beton, Isoliermaterial (Mineralwolle, Glaswolle, Isoliermatten, asbesthaltige Stoffe), Baustahl, Strahlsand, Gips und weitere Bestandteile in geringen Anteilen.

Vorsortierte Rohabfälle kamen teilweise zur Verbrennung (zellulosehaltige Stoffe, Kunststoffe) oder zum Einschmelzen (Metalle). Bei diesen Abfallbehandlungen fielen kontaminierte Sekundärabfälle an, die als radioaktiver Abfall ab 1994 in das ERAM entsorgt wurden. Solche Abfälle, die z. T. noch hochdruckverpresst oder auch zementiert wurden, bestanden aus Schlacken aus dem Schmelzprozess, Filterstäuben aus Schmelz- und Verbrennungsanlagen, Aschen aus der Verbrennung, Ofenausmauerung aus Schmelzanlagen, Kehricht und aussortierten Abfällen, die nicht für Verbrennung oder zum Einschmelzen geeignet waren (im Wesentlichen PVC). Aschen wurden in der Regel separat in Abfallbehälter gefüllt und deklariert.

Bis 1990 wurden sperrige feste Abfälle als Sonderabfälle endgelagert. Diese Abfälle setzten sich wie folgt zusammen: Aerosolfiltereinsätze, Isoliermaterial, Steuer- und Schutzsystem-Antriebe (SUS-Antriebe), Luftkühler, Rüstmaterial und Anlagenteile. Die Verpackung solcher Abfälle bestand aus PE-Folie oder Pappe.

Abfälle von Kleinanwendern (bis 1991)

Die in der DDR im Bereich der Anwendung und Produktion von Radionukliden (Kleinanwender) angefallenen radioaktiven Abfälle wurden von 1961 bis Mitte des Jahres 1982 durch das SAAS, Außenstelle Lohmen, erfasst, dort bearbeitet und zwischengelagert. Die endlagergerechte Konditionierung dieser Abfälle erfolgte durch Zementierung (flüssig-wässrige Abfälle), Einbindung in Bitumen (organische Abfälle wie Tierkadaver, Öle, Schlämme) oder Verpressen (feste Mischabfälle) in Lohmen.

Die Mischabfälle enthalten z. B. Papier, Zellstoff, Textilien, PVC, PE u. a. Kunststoffe, Holz, Harze, Aktivkohle, Metalle, Glas, Keramik, Bauschutt, Sand. Diese Abfälle entsprechen den radioaktiven Abfällen aus den Landessammelstellen in den alten Bundesländern.

Abfälle aus Landessammelstellen (ab 1994)

Von den Landessammelstellen wurden Abfallbehälter mit Mischabfällen, Schrott, Bauschutt, zementierten Verdampferkonzentraten und wässrigen Abfällen, in Beton fixierten Strahlenquellen und zementierten Aschen zur Endlagerung im ERAM abgeliefert. Hierbei handelte es sich um radioaktive Abfälle von Kleinverursachern wie Arztpraxen und Krankenhäuser, aus Gewerbe und Industrie sowie von Forschungseinrichtungen, die in den Landessammelstellen oder von Dienstleistungsfirmen zu endlagerfähigen Gebinden konditioniert wurden.

Eine Abfallsortierung und Weiterbehandlung durch Verbrennen oder Einschmelzen von Schrott erfolgte im Allgemeinen nicht. Ebenfalls nur ein geringer Anteil der Mischabfälle wurde hochdruckverpresst; z. T. wurden die Mischabfälle zementiert. Die Abfallbestandteile der Mischabfälle waren Papier, Zellstoff, Textilien, Kunststoffe (Folien, Schläuche), Metalle (Geräteteile, Kleinschrott) sowie Glas, Keramik, Bauschutt, Erdreich und Zement.

Abfälle aus Forschungseinrichtungen und von sonstigen Abfallverursachern

Abfälle aus Forschungseinrichtungen und von sonstigen Abfallverursachern stammen aus Einrichtungen mit sehr unterschiedlichen Aufgabengebieten und einem sehr unterschiedlichen Abfallaufkommen. Daher unterschieden sich die Abfälle hinsichtlich Art und Menge sehr stark.

Von 1969 bis 1990 waren das Zentralinstitut für Kernforschung Rossendorf (ZfK) und das Zentralinstitut für Isotopenforschung Leipzig und Berlin-Buch die drei wichtigsten Abfallverursacher von radioaktiven Abfällen im Bereich der Anwendung und Produktion von Radionukliden. Die Entsorgung erfolgte bis Mitte 1981 über das SAAS Lohmen. Ab 1981 lieferten diese Institute ihre Abfallgebilde direkt an das ERAM. Nach der Übergabe der Erfassungsfunktion vom SAAS Lohmen an das ERAM im Jahr 1982 wurden auch die von den anderen Kleinverursachern endlagerfähig konditionierten Abfälle direkt an das ERAM übergeben.

Im Zeitraum 1994 bis 1998 wurden aus Forschungseinrichtungen und anderen Institutionen (z. B. Bundeswehr, Industrie) im Wesentlichen folgende Abfallströme/Abfallarten abgeliefert:

Mischabfall, Bauschutt, Isoliermaterial, Schrott, getrocknete Verdampferkonzentrate, Ionenaustauscherharze und Schlämme, zementierte Verdampferkonzentrate, Schlämme und Abwässer.

Die anfallenden Mischabfälle wurden z. T. hochdruckverpresst, z. T. zementiert oder unbearbeitet abgeliefert. Die Bestandteile waren Textilien, Papier, Holz, Gummi, Plastik, PVC, Folien, Metalle, Glas, Keramik, Bauschutt und Aktivkohle.

Beschreibung der Einlagerungsgrubenbaue

Im Folgenden werden die in den einzelnen Einlagerungsgrubenbauen end- und zwischengelagerten radioaktiven Abfälle im Überblick dargestellt. Das Inventar sicherheitsrelevanter Radionuklide wird im Detail für die Einlagerungsgrubenbaue in Tab. 2.1-3 aufgeführt. Unter Berücksichtigung des radioaktiven Zerfalls werden alle Aktivitäten auf den 30.06.2005 bezogen. Die Tabelle enthält neben den für die Langzeitsicherheit relevanten Radionukliden diejenigen kürzerlebigen Radionuklide, die zum Stichtag 30.06.2005 einen wesentlichen Beitrag zur Gesamtaktivität der Abfälle leisteten. Dazu gehören Co-60 und Cs-137 sowie H-3. Darüber hinaus beinhaltet die nachfolgend für die einzelnen Einlagerungsgrubenbaue angegebene Gesamtaktivität die Aktivität von weiteren Radionukliden, die in den Datenblättern der Abfallverursacher aufgeführt sind, jedoch für die Sicherheitsanalysen keine Bedeutung haben. Die Angaben zu den radionuklidspezifischen Aktivitäten sind abdeckend; gemäß den Endlagerungsbedingungen war die Angabe von Höchstwerten zulässig.

Eine Abschätzung der stofflichen Zusammensetzung der Abfälle in den wichtigsten Stoffgruppen wird in Tab. 2.1-4 zusammengefasst. Neben den Abfällen selbst werden auch die Verpackungen und die zur Konditionierung verwendeten Bindemittel betrachtet. Es wird abgeschätzt, dass insgesamt ca. 18.350 t Materialien (metallische und organische Stoffe) in den Einlagerungsgrubenbauen lagern, die zur Gasbildung beitragen können.

ERA
Morsleben

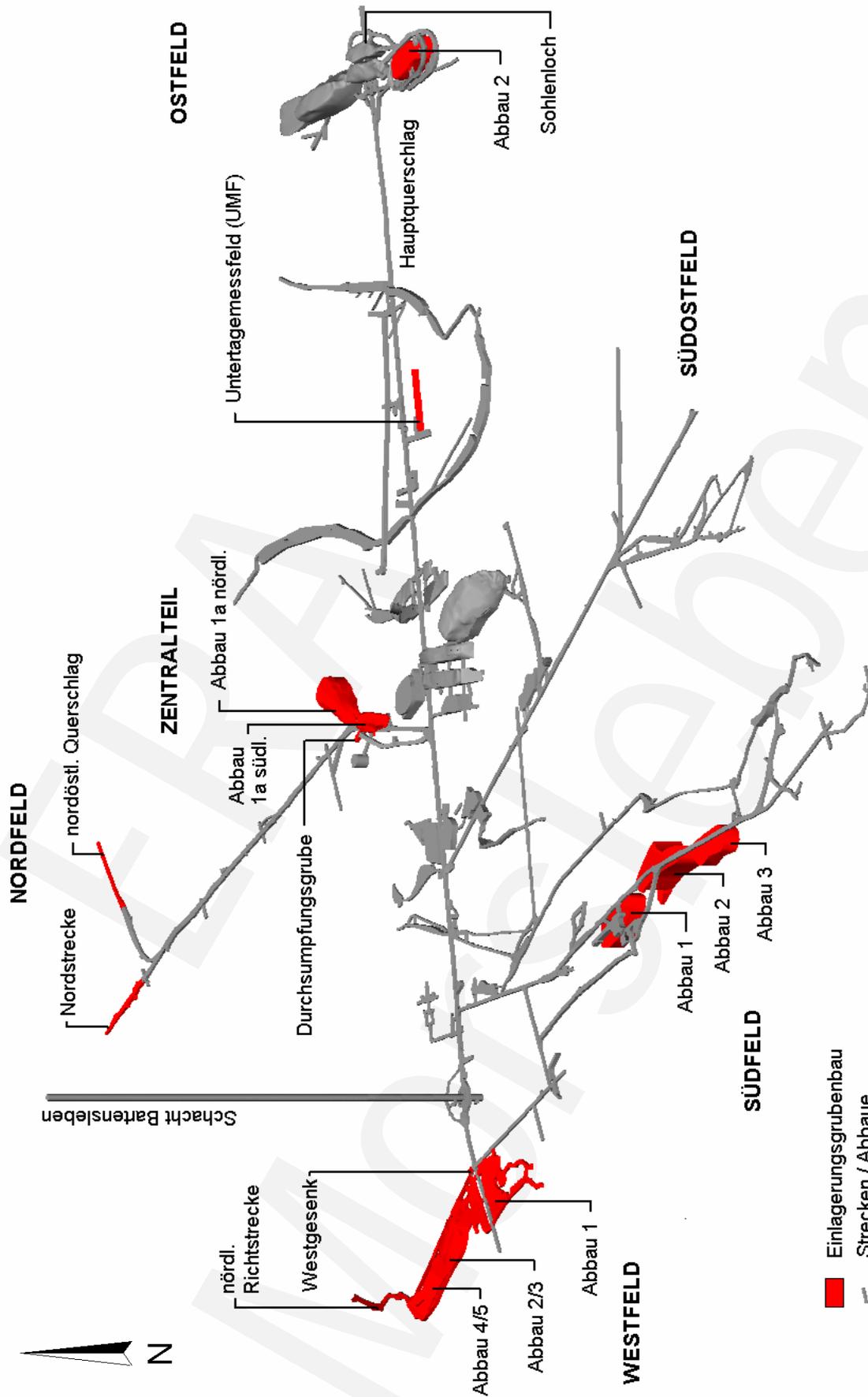


Abb. 2.1-4: Übersicht der Einlagerungsgrubenbaue.

Nordfeld

In der Nordstrecke und im nordöstlichen Querschlag auf der -372 m-Sohle (4. Sohle) sind 1.701 m^3 niedrigradioaktive Abfälle endgelagert. Bei diesen Abfällen handelt es sich um in 200-l-Fässer verpackte feste Abfälle wie Mischabfälle, Filter und sperrige Abfälle aus dem Betrieb der Kernkraftwerke und von Kleinverursachern. 347 m^3 der eingelagerten radioaktiven Abfälle stammen aus dem Bereich der Kernkraftwerke und 1.354 m^3 von Kleinverursachern. Weiterhin befinden sich in der Nordstrecke betriebliche radioaktive Abfälle des ERAM (zwei Behälter vom Typ LB 5700).

Die Abfälle sind etwa zu gleichen Teilen auf den Bereich der Nordstrecke und den nordöstlichen Querschlag verteilt (siehe Abb. 2.1-5: Lage der Einlagerungsgrubenbaue (rot) im Nordfeld.). Die Einlagerung erfolgte bis 1981. Die Gesamtaktivität der endgelagerten radioaktiven Abfälle beträgt ca. $1,9 \cdot 10^{12} \text{ Bq}$. Beide Einlagerungsgrubenbaue wurden entsprechend der befristeten Genehmigung zum Dauerbetrieb von 1981 mit Mauern abgeschlossen. Eine Resthohlraumverfüllung wurde dort nicht vorgenommen, da diese Genehmigung dies nicht vorschrieb.

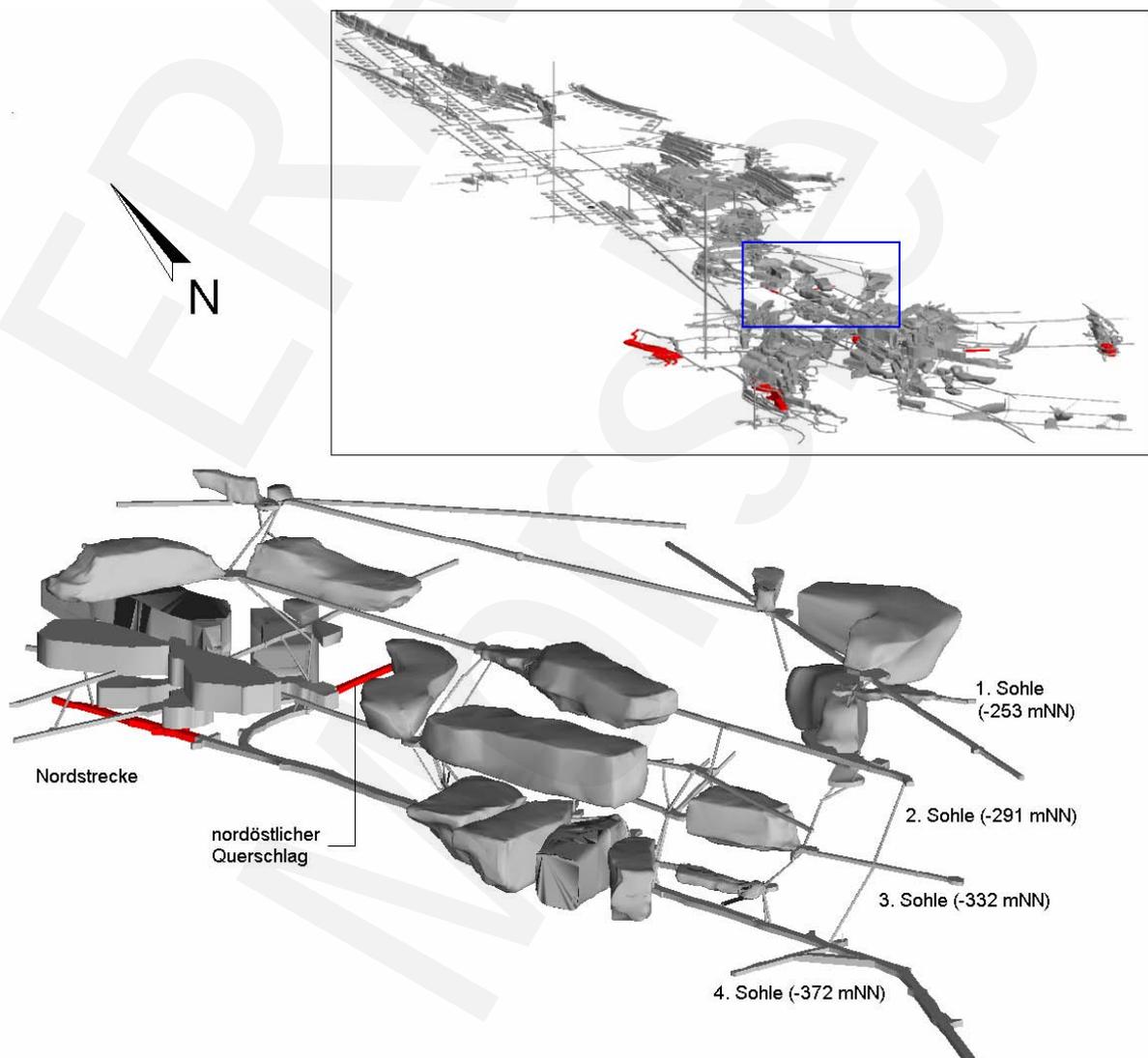


Abb. 2.1-5: Lage der Einlagerungsgrubenbaue (rot) im Nordfeld.

Zentralteil

In den Einlagerungsgrubenbauen im Zentralteil auf der -346 m-Sohle (4a-Sohle in den Abbauen 1a südlich und nördlich) des ERAM wurden insgesamt 133 m^3 niedrigradioaktive feste Abfälle endgelagert (siehe Abb. 2.1-6: Lage der Einlagerungsgrubenbaue (rot) im Zentralteil.). Es handelt sich um sperrige Abfälle, z. B. Aerosolfilter, Mischabfälle sowie um Strahlerköpfe mit Co-60-Strahlenquellen. Abfallverursacher waren die KKW (78 m^3), Forschungseinrichtungen (30 m^3) sowie Kleinverursacher (25 m^3). Die Abfälle wurden von 1983 bis 1990 endgelagert und mit Salzgrus überdeckt. Die Gesamtaktivität der endgelagerten Abfälle beträgt ca. $3,1 \cdot 10^{12}$ Bq. Die Resthohlraumverfüllung in den Einlagerungsgrubenbauen erfolgt erst im Rahmen der Stilllegung durch Auffüllung mit Salzbeton. Im Zentralteil sind keine Abmauerungen oder andere Verschlüsse vorhanden.

In der Durchsumpfungsrube in der Nordstrecke des Zentralteils auf der -372 m-Sohle (4. Sohle) lagern 24 m^3 flüssige mit Braunkohlenfilterasche verfestigte Verdampferkonzentrate aus dem Betrieb der Kernkraftwerke. Die Einlagerung erfolgte 1984. Die Gesamtaktivität der endgelagerten Abfälle beträgt ca. $6,7 \cdot 10^{10}$ Bq. Eine Resthohlraumverfüllung in der Durchsumpfungsrube in der Nordstrecke war in der befristeten Genehmigung zum Dauerbetrieb von 1981 nicht vorgeschrieben.

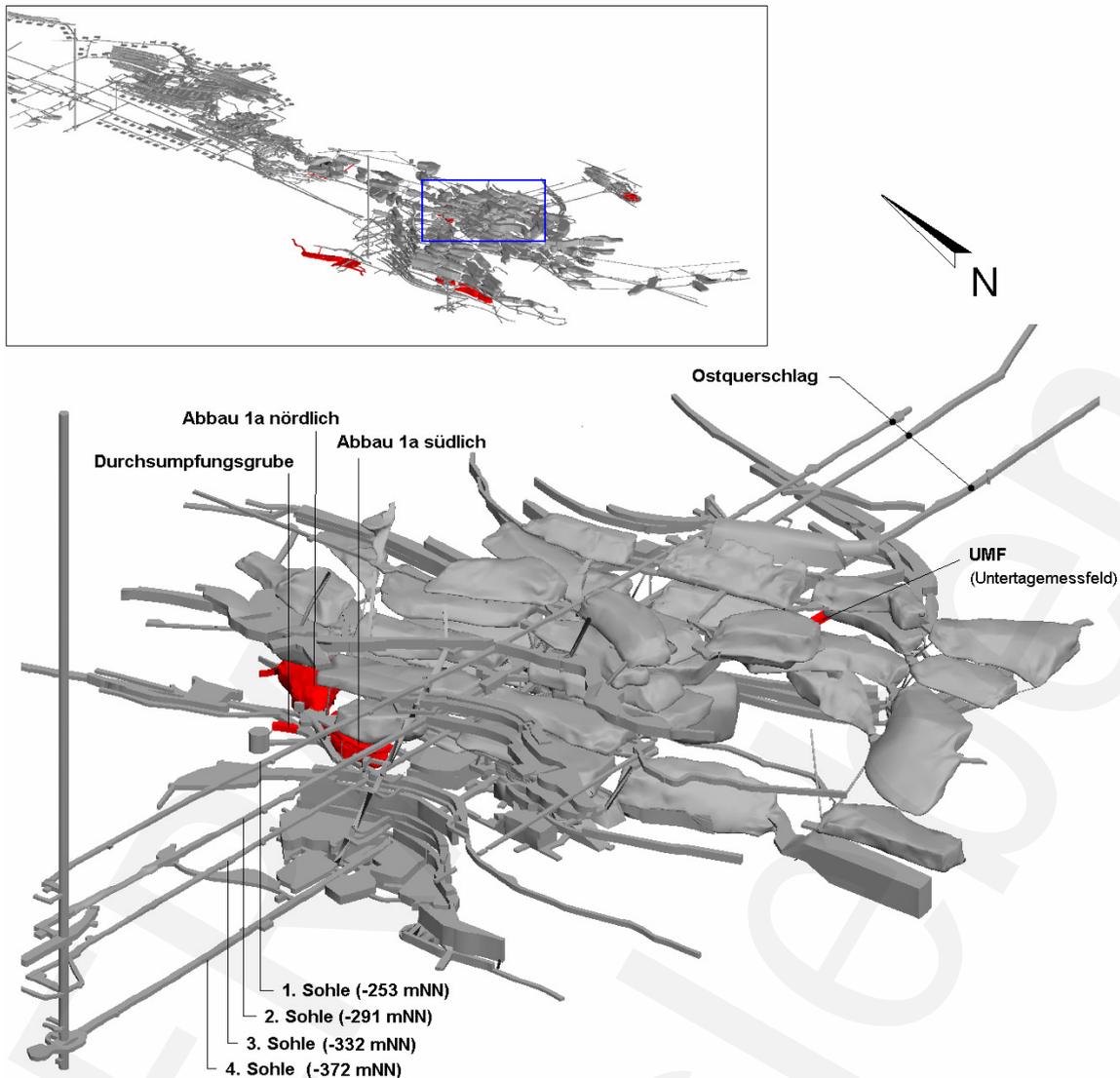


Abb. 2.1-6: Lage der Einlagerungsgrubenbaue (rot) im Zentralteil.

Westfeld

Die Einlagerungsgrubenbaue des Westfeldes sind die nördliche Richtstrecke, die Abbaue 1 bis 5 auf der -372 m-Sohle (4. Sohle) sowie das Westgesenk unterhalb der 4. Sohle.

In der nördlichen Richtstrecke und in den Abbauen 4 und 5 wurden von 1981 bis 1996 insgesamt 6.249 m^3 niedrigradioaktive Abfälle endgelagert. Abfallverursacher waren KKW (4.404 m^3), Landessammelstellen und Kleinverursacher (1.121 m^3) sowie Forschungseinrichtungen (724 m^3). Die niedrigradioaktiven Abfälle sind in 200-l-, 280-l- und 400-l-Fässer verpackt. Weiterhin sind Abfälle in Sonderverpackungen gestapelt. Bei den Abfällen handelt es sich um Mischabfälle, Bauschutt, Schrott, getrocknete und zementierte Abfälle. Die Mischabfälle enthalten z. B. Gummi, Schläuche, Textilien, Papier, Holz, Kabel, Kunststoffe, Bleche, Armaturen,

Werkzeug, Glas und Strahlgut. Weiterhin enthalten die Abfallfässer zementierte oder getrocknete Ionenaustauscherharze, Filterkonzentrate, Schlämme und Verdampferkonzentrate.

Die Einlagerung erfolgte in zwei Ebenen. Die Abfälle der ersten Ebene wurden vollständig mit Salzgrus überdeckt. Die Resthohlräume in der zweiten Ebene wurden mit 4.082 m³ Braunkohlenfilterasche verfüllt. Die einzelnen Einlagerungsgrubenbaue sind durch Mauern abgeschlossen. Die in den Abbauen 4 und 5 des Westfeldes endgelagerten niedrigradioaktiven Abfälle wurden gestapelt. Die Gesamtaktivität der endgelagerten Abfälle beträgt ca. 1,4·10¹³ Bq. Es sind hier Abfälle mit sehr unterschiedlichen Inhaltsstoffen endgelagert. Dabei überwiegen Abfallgebilde mit silikatischen Anteilen (wie zementierte Abfälle) und Bauschutt sowie Stahl, der hauptsächlich von den Abfallfässern herrührt.

In den Jahren 1974 und 1975 wurden in das Westgesenk des Westfeldes 61 m³ niedrigradioaktive Abfälle endgelagert. Es handelt sich bei diesen Abfällen um in Kunststoffsäcke verpacktes Isoliermaterial aus einem Kernkraftwerk. Die Abfälle wurden mit Salzgrus versetzt. Die Gesamtaktivität der endgelagerten Abfälle beträgt ca. 5,4·10⁹ Bq.

In den Abbauen 1, 2 und 3 wurden in der Zeit von 1995 bis 1998 insgesamt 12.327 m³ niedrigradioaktive feste Abfälle in 200-l-, 280-l- und 400-l-Fässern sowie in zylindrischen Betonbehältern gestapelt (siehe Abb. 2.1-7: Lage der Einlagerungsgrubenbaue (rot) im Westfeld.). Die Abfälle stammen überwiegend aus dem Betrieb von Kernkraftwerken (10.845 m³) sowie aus dem Bereich Forschungseinrichtungen (1.089 m³) und aus Landessammelstellen (393 m³). Bei den Abfällen handelt es sich z. B. um hochdruckverpresste Mischabfälle, zementierte Verdampferkonzentrate, Harze und Filterkonzentrate sowie um Schrott und Bauschutt. Nach Beendigung der Einlagerung wurden die Resthohlräume mit Braunkohlenfilterasche verfüllt. Die einzelnen Einlagerungsgrubenbaue sind abgemauert. Die Gesamtaktivität der endgelagerten Abfälle beträgt ca. 1,0·10¹³ Bq. Darin enthalten sind auch die Aktivitäten der radioaktiven Abfälle aus den Versuchsorten, die vorstehend erläutert wurden (siehe Abb. 2.6-3). Die Hauptmasse der endgelagerten Materialien stellen Metalle dar, die hauptsächlich von den Abfallfässern herrühren sowie Bauschutt und silikatische Bestandteile in Mischabfällen.

Die im Westfeld befindlichen betrieblichen radioaktiven Abfälle werden im Kapitel 3.4.1 beschrieben.

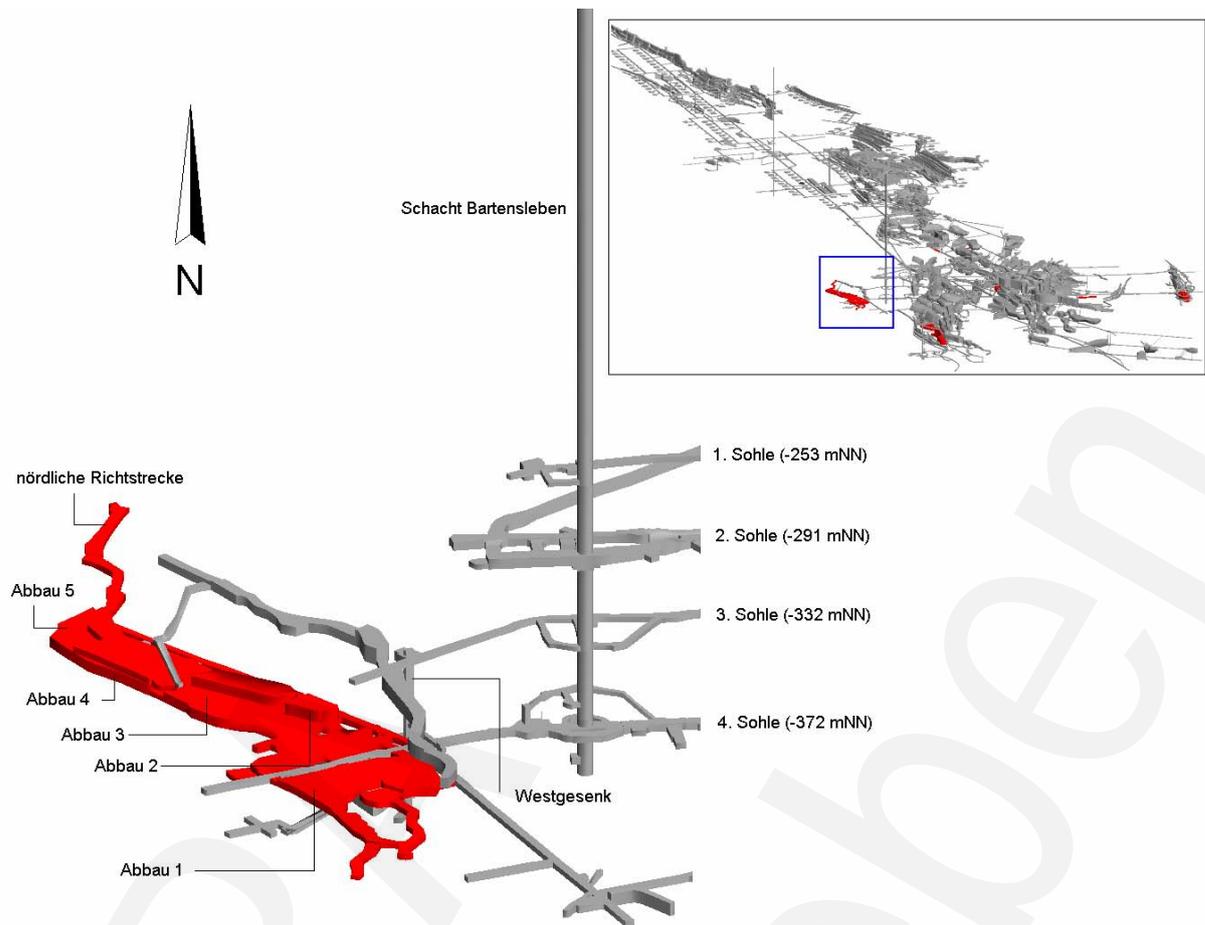


Abb. 2.1-7: Lage der Einlagerungsgrubenbaue (rot) im Westfeld.

Südfeld

Einlagerungsgrubenbaue des Südfeldes sind die Abbaue 1, 2 und 3. Sie befinden sich auf dem Niveau der -395 m-Sohle (5a-Sohle).

In den Abbau 1 des Südfeldes wurden von 1981 bis 1998 niedrig- und mittelradioaktive feste Abfälle und umschlossene Strahlenquellen endgelagert. Im Zeitraum von 1981 bis 1991 wurden 200-l-Fässer mit niedrig- und mittelradioaktiven festen Abfällen aus Fasscontainern (FC) und Papphülsen aus Primärcontainern (PC) verstürzt. Diese Fässer enthielten feste Mischabfälle und getrocknete Verdampferkonzentrate, die Papphülsen enthielten getrocknete Verdampferkonzentrate. Weiterhin erfolgte der Versturz von unverpackten festen Abfällen. Die Abfälle kamen aus KKW, Forschungseinrichtungen und der Außenstelle des SAAS in Lohmen. Von 1994 bis 1998 wurden außer fünf Stahlhülsen mit getrockneten Verdampferkonzentraten nur 200-l- und 400-l-Fässer mit zementierten Verdampferkonzentraten, Ionenaustauscherharzen und Schlämmen sowie getrockneten Verdampferkonzentraten eingelagert. Abfallverursacher dieser Abfälle waren ausschließlich KKW. Insgesamt sind 1.013 m³ Abfälle sowie 6.617 umschlossene Strahlenquellen endgelagert. Die umschlossenen Strahlenquellen wurden aus wieder verwendbaren Behältern verstürzt. Die festen Abfälle verteilen sich wie folgt auf die Verursacher:

739 m³ stammen aus KKW, 237 m³ aus dem Bereich Kleinverursacher/ Landes-sammelstellen und 37 m³ aus Forschungseinrichtungen. Die Abfälle sind mit Braunkohlenfilterasche bzw. Salzgrus überdeckt und der Resthohlraum ist mit Salzgrus bzw. Braunkohlenfilterasche verfüllt. Der Abbau ist verschlossen. Die Gesamtaktivität der endgelagerten Abfälle beträgt ca. $6,2 \cdot 10^{13}$ Bq. Die Hauptanteile der Abfälle sind getrocknete Verdampferkonzentrate, Metalle sowie zementierte Verdampferkonzentrate, Harze und Filterkonzentrate.

In den Abbau 2 des Südfeldes wurden von 1988 bis 1998 niedrig- und mittel-radioaktive Abfälle eingelagert. Es handelt sich um 872 m³ in Fässer verpackte feste Abfälle, die verstürzt wurden sowie um 626 m³ niedrigradioaktive flüssige Abfälle, die von der 4. Sohle aus in den darunter liegenden Abbau eingebracht und dort in situ mit etwa 2.400 m³ Braunkohlenfilterasche verfestigt wurden. Flüssige Abfälle wurden bis 1990 eingebracht. Es wurden insgesamt 1.498 m³ Abfälle (1.395 m³ aus KKW, 44 m³ aus dem Bereich Landessammelstellen/ Kleinverursacher und 59 m³ aus Forschungseinrichtungen) mit einer Gesamtaktivität von ca. $7,3 \cdot 10^{12}$ Bq endgelagert. Die Abfälle sind mit Salzgrus überdeckt, der Resthohlraum ist mit Braunkohlen-filterasche verfüllt. Der Abbau ist verschlossen.

Im Abbau 3 wurden im Zeitraum von 1978 bis 1988 insgesamt 7.608 m³ flüssige niedrigradioaktive Abfälle endgelagert. Hierbei handelt es sich überwiegend um Verdampferkonzentrate aus dem Betrieb der KKW (7.008 m³) sowie um 478 m³ niedrigradioaktive flüssige Abfälle aus Forschungseinrichtungen und 122 m³ von Kleinverursachern. Als Bindemittel für die Verfestigung wurden insgesamt ca. 14.700 m³ Braunkohlenfilterasche und als Versatz zur Resthohlraumverfüllung ca. 1.400 m³ eingebracht. Die im Abbau 3 endgelagerte Gesamtaktivität beträgt ca. $1,9 \cdot 10^{13}$ Bq. Der Abbau ist verschlossen.

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, so dass hier keine weiteren Maßnahmen vorgesehen sind.

Die Einlagerungsgrubenbaue im Südfeld sind in der folgenden Abb. 2.1-8: Lage der Einlagerungsgrubenbaue (rot) im Südfeld.dargestellt.

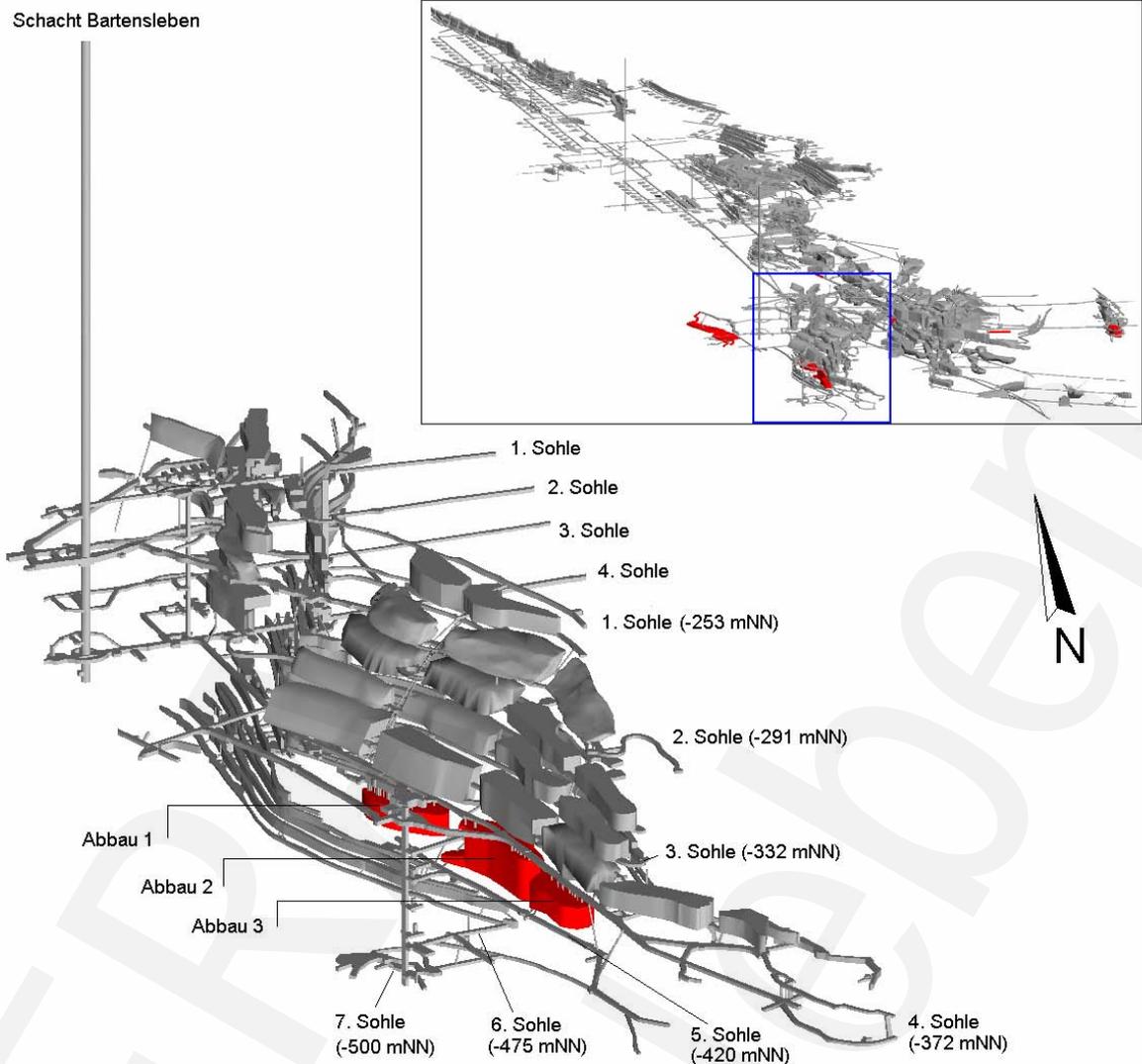


Abb. 2.1-8: Lage der Einlagerungsgrubenbaue (rot) im Südfeld.

Ostfeld

In den Abbau 2 des Ostfeldes auf der -372 m-Sohle (4. Sohle) wurden von 1997 bis 1998 6.140 m³ niedrigradioaktive Abfälle gestapelt. Die Abfälle sind in 200-l-, 280-l-, 400-l- und 570-l-Fässern sowie in zylindrischen Betonbehältern verpackt und enthalten Mischabfälle, getrocknete und zementierte Abfälle aus den Bereichen KKW (5.250 m³), Forschung (762 m³) und Landessammelstellen (128 m³). Die Lage der Einlagerungsgrubenbaue im Ostfeld ist in Abb. 2.1-9: Lage der Einlagerungsgrubenbaue (rot) im Ostfeld.

Die Abfallgebände sind in drei Ebenen gestapelt. Die einzelnen Ebenen sind durch Salzgruslagen voneinander getrennt. Endgelagert sind überwiegend hochdruckverpresste Mischabfälle, zementierte Verdampferkonzentrate, Harze und Filterkonzentrate, metallische Abfälle, Bauschutt sowie betriebliche Abfälle. Die in das Ostfeld

eingebraachte Gesamtaktivität beträgt ca. $1,2 \cdot 10^{13}$ Bq. Im Abbau 2 des Ostfeldes sind die Durchhiebe zu den Stapelebenen 1 bis 3 mit Mauern verschlossen. Der Abschluss im Abbau zum freien Restvolumen besteht aus einer ca. 1,2 m mächtigen verfestigten Salzgrusüberdeckung.

In einer abgemauerten Nische am östlichen Ende des Hauptquerschlages auf der -372 m-Sohle (4. Sohle) ist ein zylindrischer Betonbehälter mit Radiumabfällen (Radium-VBA) in einem Sohlenloch zwischengelagert. Die Ra-226-Aktivität beträgt ca. $3,7 \cdot 10^{11}$ Bq. Der zylindrische Betonbehälter mit Radiumabfällen befindet sich bereits in einem endlagergerechten Zustand, so dass in der Stilllegungsphase keine weiteren technischen Maßnahmen erforderlich sind.

Die Verfüllung der Einlagerungsgrubenbaue im Ostfeld erfolgt im Rahmen der Stilllegung mit Salzbeton.

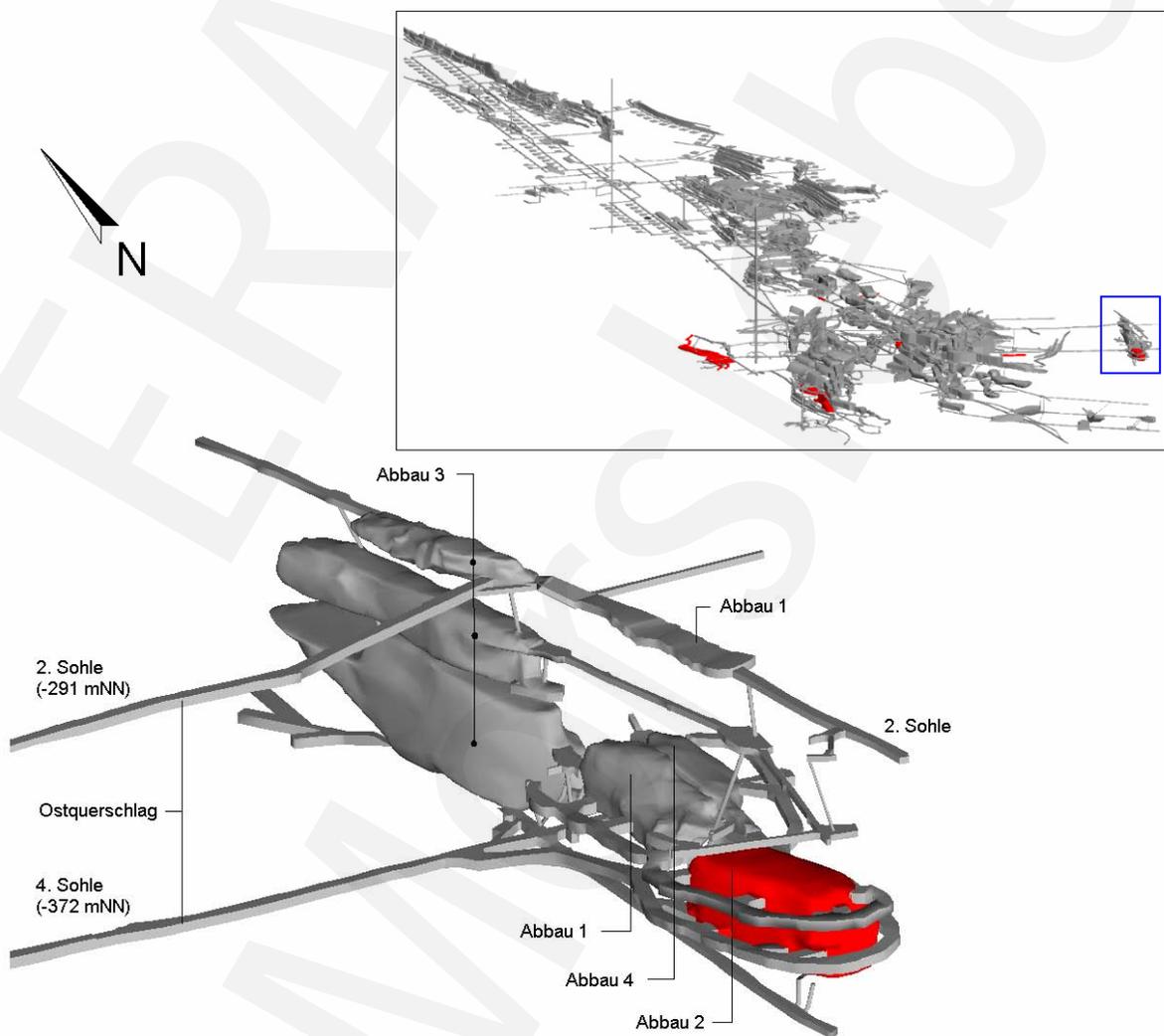


Abb. 2.1-9: Lage der Einlagerungsgrubenbaue (rot) im Ostfeld.

Untertage-Messfeld (UMF)

Im UMF auf der -372 m-Sohle (4. Sohle) südlich des Hauptquerschlages zwischen Zentralteil und Ostfeld sind in zwei Sohlenbohrlöchern sieben Spezialcontainer mit überwiegend Co-60-Strahlenquellen zwischengelagert (Abb. siehe unten). Neben diesen Strahlenquellen sind in geringerem Umfang Cs-137-Strahlenquellen sowie feste Kobalt- und Europiumabfälle enthalten. Die Einlagerung erfolgte von 1985 bis 1990. Die Gesamtaktivität der Abfälle in den Sohlenbohrlöchern beträgt ca. $3,9 \cdot 10^{14}$ Bq. Die im UMF zwischengelagerten Abfälle befinden sich bereits in einem endlagergerechten Zustand, so dass im Hinblick auf die beabsichtigte Endlagerung dieser Abfälle im Rahmen der Stilllegungsphase keine weiteren technischen Maßnahmen erforderlich sind. Im UMF erfolgt die Resthohlraumverfüllung ebenfalls erst im Rahmen der Stilllegung mit Salzbeton.

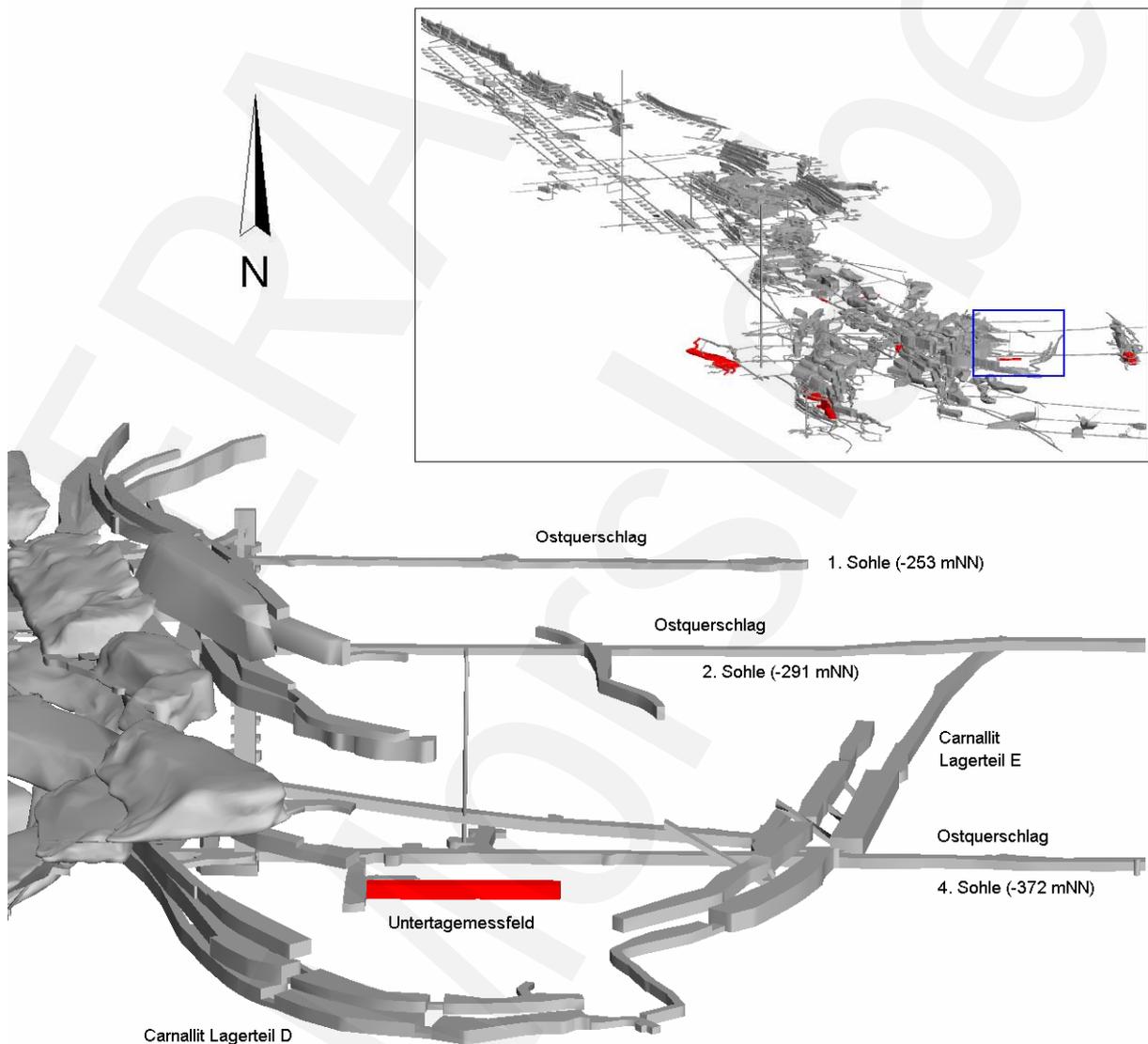


Abb. 2.1-10: Lage der Einlagerungsgrubenbaue (rot) im Untertage-Messfeld.

Abfallüberdeckung/Hohlraumverfüllung

Die Abfallüberdeckung und die Hohlraumverfüllung erfolgten mit Steinsalzgrus oder Braunkohlenfilterasche, die Abmauerung der Einlagerungsgrubenbaue erfolgte mit verschiedenen Mauersteinen.

Als Versatzmaterial in den Einlagerungsgrubenbauen wurden in der Betriebsphase je nach Anforderung geschnittenes oder gemahlenes Steinsalzgrus und Braunkohlenfilterasche aus Elektrofiltern von Kraftwerken verwendet. Beide Versatzmaterialien wurden im Wesentlichen gleichwertig eingesetzt. Der Versatz in den Einlagerungsgrubenbauen hat bei allen Hohlräumen die Funktion, einen zwar unwahrscheinlichen aber durch Selbstentzündung oder Funkenbildung (Umsturz von Gebinden) möglichen Brand, die Ansammlung von Schadstoffen und explosiblen Gasen sowie den Luftaustritt aus den Einlagerungsgrubenbauen infolge von atmosphärischen Druckschwankungen zu verhindern. Bei Hohlräumen mit mehreren Stapelebenen (West- und Ostfeld) hat der Versatz zusätzlich die Funktion, mehrere Stapelebenen überhaupt erst zu ermöglichen und bildet den physischen Schutz für die Abfälle.

Zur Abmauerung der Einlagerungsgrubenbaue wurden Betonsteine, Ziegelsteine, Porenbetonsteine und Kalksandsteine verwendet. Die Mauern haben eine Dicke von ca. 50 cm, in einigen Fällen (z. B. im Ostfeld vor der Kammer mit der Radium-VBA) von 25 cm. Die neueren Mauern sind größtenteils bewehrt. Die Mauern erfüllen die Funktionen der Rückhaltung des Versatzmaterials, des Ausschlusses bzw. der Minimierung des Luftaustauschs (sie gelten als wettertechnisch dicht) und des physischen Schutzes der Abfälle sowie insbesondere auch der Minimierung der Strahlenexposition der Beschäftigten.

Tab. 2.1-3: Radionuklidinventar der relevanten Radionuklide in den einzelnen Einlagerungsgrubenbauen des ERAM; Aktivität in Bq, bezogen auf den 30.06.2005, Blatt 1.

Radio-nuklid	Südfeld			Westfeld		Nordfeld	Zentralteil		Ostfeld	UMF	Gesamtes ERAM
	Abbau 1	Abbau 2	Abbau 3	Nördliche Richtstrecke, Abbau 4 u. 5	Abbaue 1, 2 und 3		West-gesenk	Nordstrecke, nordöstlicher Querschlag			
H-3	2,7·10 ¹¹	1,6·10 ¹¹	3,3·10 ¹¹	7,9·10 ¹¹	4,3·10 ¹¹	2,5·10 ⁸	1,1·10 ¹²	6,8·10 ⁸	9,1·10 ⁷	1,0·10 ¹¹	3,2·10 ¹²
C-14	2,2·10 ¹²	3,2·10 ¹⁰	1,8·10 ¹¹	6,5·10 ¹¹	1,2·10 ¹¹	2,9·10 ⁸	5,8·10 ¹⁰	2,7·10 ⁹	2,1·10 ⁸	1,2·10 ¹¹	3,4·10 ¹²
Cl-36	1,5·10 ⁸	2,5·10 ⁸	3,7·10 ⁸	1,1·10 ⁹	1,1·10 ⁹	3,1·10 ⁶	1,7·10 ⁷	3,9·10 ⁶	1,3·10 ⁶	8,3·10 ⁸	3,8·10 ⁹
Ca-41	7,4·10 ⁶	1,1·10 ⁷	1,2·10 ⁷	9,8·10 ⁶	2,7·10 ⁷	3,5·10 ³	2,4·10 ⁴	5,3·10 ³	4,3·10 ⁴	6,0·10 ⁶	7,3·10 ⁷
Co-60	6,5·10 ¹²	1,0·10 ¹²	9,0·10 ¹¹	1,1·10 ¹²	1,5·10 ¹²	1,9·10 ⁸	9,2·10 ¹⁰	3,0·10 ¹²	4,6·10 ⁹	2,4·10 ¹²	2,5·10 ¹⁴
Ni-59	3,4·10 ¹⁰	1,4·10 ¹⁰	4,1·10 ¹⁰	6,1·10 ⁹	3,1·10 ¹⁰	5,0·10 ⁷	3,8·10 ⁸	8,6·10 ⁷	1,4·10 ⁸	4,9·10 ¹⁰	1,8·10 ¹¹
Ni-63	7,5·10 ¹²	1,5·10 ¹²	4,0·10 ¹²	5,9·10 ¹¹	1,7·10 ¹²	1,1·10 ⁹	1,2·10 ¹⁰	3,9·10 ⁹	1,3·10 ¹⁰	2,8·10 ¹²	1,8·10 ¹³
Se-79	5,5·10 ⁷	1,3·10 ⁷	6,2·10 ⁷	7,9·10 ⁶	3,1·10 ⁷	9,4·10 ³	6,4·10 ⁴	1,4·10 ⁴	2,1·10 ⁵	2,5·10 ⁷	1,9·10 ⁸
Rb-87	2,3·10 ³	3,1·10 ²	2,0·10 ³	8,0·10 ⁶	9,9·10 ⁶	0	1,2·10 ⁶	2,7·10 ⁵	6,9	8,2·10 ⁶	2,8·10 ⁷
Sr-90	2,7·10 ¹²	4,4·10 ¹¹	1,2·10 ¹¹	1,5·10 ¹²	7,2·10 ¹¹	7,2·10 ⁸	9,3·10 ⁹	1,2·10 ⁹	2,9·10 ⁶	4,1·10 ¹¹	5,9·10 ¹²
Zr-93	9,6·10 ⁸	1,5·10 ⁹	1,6·10 ⁹	1,2·10 ⁹	3,2·10 ⁹	3,5·10 ⁵	2,7·10 ⁶	6,1·10 ⁵	5,7·10 ⁶	7,9·10 ⁸	9,3·10 ⁹
Nb-94	3,0·10 ⁹	8,3·10 ⁸	4,4·10 ⁹	6,4·10 ⁸	8,7·10 ⁹	2,1·10 ⁷	8,5·10 ⁷	2,0·10 ⁷	1,5·10 ⁷	9,5·10 ⁹	2,7·10 ¹⁰
Mo-93	2,1·10 ⁷	3,0·10 ⁷	3,6·10 ⁷	3,0·10 ⁷	1,1·10 ⁸	4,5·10 ⁵	1,4·10 ⁶	3,1·10 ⁵	1,2·10 ⁵	2,2·10 ⁷	2,5·10 ⁸
Tc-99	1,5·10 ¹⁰	5,3·10 ⁹	2,5·10 ¹⁰	1,3·10 ¹⁰	1,7·10 ¹⁰	1,1·10 ⁶	8,3·10 ⁸	1,3·10 ⁸	8,6·10 ⁷	2,7·10 ¹⁰	1,0·10 ¹¹
Pd-107	3,1·10 ⁶	2,6·10 ⁶	6,7·10 ⁶	2,5·10 ⁷	2,9·10 ⁷	7,3·10 ²	4,1·10 ³	9,3·10 ²	2,3·10 ⁴	5,4·10 ⁵	6,7·10 ⁷
Sn-126	3,6·10 ⁷	3,1·10 ⁷	3,4·10 ⁷	2,0·10 ⁷	7,0·10 ⁷	1,8·10 ⁵	7,4·10 ⁵	1,7·10 ⁵	1,1·10 ⁵	5,0·10 ⁷	2,4·10 ⁸
I-129	3,5·10 ⁶	1,4·10 ⁶	4,2·10 ⁶	3,6·10 ⁷	1,6·10 ⁸	9,9·10 ²	6,7·10 ³	1,5·10 ³	1,4·10 ⁴	8,6·10 ⁶	2,1·10 ⁸
Cs-135	1,3·10 ⁸	2,2·10 ⁷	1,1·10 ⁸	1,1·10 ⁷	4,4·10 ⁷	1,3·10 ⁴	8,4·10 ⁴	1,9·10 ⁴	3,6·10 ⁵	5,7·10 ⁷	3,7·10 ⁸
Cs-137	4,2·10 ¹³	3,8·10 ¹²	1,3·10 ¹³	7,7·10 ¹²	5,0·10 ¹²	2,1·10 ⁹	5,6·10 ¹¹	1,1·10 ¹¹	4,9·10 ¹⁰	4,9·10 ¹²	1,4·10 ¹⁴
Sm-151	6,5·10 ⁹	7,3·10 ¹⁰	1,7·10 ⁹	2,5·10 ¹⁰	1,2·10 ¹¹	1,5·10 ⁸	4,5·10 ⁸	1,1·10 ⁸	6,0·10 ⁶	4,7·10 ¹⁰	2,7·10 ¹¹
Pu-241	2,6·10 ¹¹	1,2·10 ¹⁰	1,3·10 ¹⁰	6,0·10 ¹¹	3,4·10 ¹¹	7,1·10 ⁷	1,6·10 ¹⁰	1,1·10 ⁸	4,7·10 ⁷	1,1·10 ¹¹	1,4·10 ¹²
Ra-226	1,1·10 ¹⁰	1,7·10 ⁸	0	1,2·10 ¹⁰	4,7·10 ⁷	0	0	0	0	3,7·10 ¹¹	3,9·10 ¹¹
Th-229	1,1·10 ²	2,6·10 ³	0	1,4·10 ⁵	2,3·10 ⁵	7,1·10 ³	2,0·10 ⁴	4,5·10 ³	0	4,6·10 ⁴	4,5·10 ⁵
Th-230	2,9·10 ²	6,9·10 ⁵	3,0·10 ²	3,5·10 ⁴	5,8·10 ⁵	4,9	3,8·10 ¹	8,4	1,0	4,1·10 ⁵	1,7·10 ⁶
Th-232	0	3,8·10 ⁵	0	1,2·10 ⁶	3,4·10 ⁶	0	0	0	0	8,0·10 ⁵	5,8·10 ⁶
Pa-231	1,7·10 ¹	4,8·10 ⁴	1,1·10 ¹	1,4·10 ⁶	1,4·10 ⁵	3,6	1,1·10 ¹	2,5	0	3,9·10 ⁴	1,6·10 ⁶

Im UMF sind von den aufgeführten Radionukliden ausschließlich Co-60 und Cs-137 enthalten

Tab. 2.1-3: Radionuklidinventar der relevanten Radionuklide in den einzelnen Einlagerungsgrubenbauen des ERAM; Aktivität in Bq, bezogen auf den 30.06.2005, Blatt 2.

Radio-nuklid	Stüdfeld			Westfeld		Nordfeld	Zentralteil		Ostfeld	UMF	Gesamtes ERAM	
	Abbau 1	Abbau 2	Abbau 3	Nördliche Richtstrecke, Abbau 4 u. 5	Abbau 1, 2 und 3		Westgesenk	Nordstrecke, nordöstlicher Querschlag				4a-Sohle
U-233	1,7·10 ²	3,5·10 ³	5,7·10 ¹	1,4·10 ⁵	3,9·10 ⁶	7,1·10 ³	2,0·10 ⁴	4,6·10 ³	0	9,6·10 ⁵	0	5,0·10 ⁶
U-234	2,8·10 ⁶	2,3·10 ⁷	4,6·10 ⁷	6,2·10 ⁸	1,2·10 ⁸	3,9·10 ⁴	3,0·10 ⁵	6,7·10 ⁴	8,3·10 ³	3,2·10 ⁸	0	1,1·10 ⁹
U-235	4,3·10 ⁴	8,4·10 ⁵	1,1·10 ⁶	4,8·10 ⁷	1,2·10 ⁷	1,2·10 ⁴	3,7·10 ⁴	8,4·10 ³	1,3·10 ²	2,0·10 ⁷	0	8,2·10 ⁷
U-236	6,4·10 ⁵	7,0·10 ⁶	5,5·10 ⁵	8,2·10 ⁵	1,0·10 ⁷	1,1·10 ⁴	7,4·10 ⁴	1,7·10 ⁴	1,9·10 ³	3,0·10 ⁷	0	4,9·10 ⁷
U-238	1,2·10 ⁶	1,5·10 ⁷	4,1·10 ⁶	2,7·10 ⁸	4,2·10 ⁷	2,0·10 ⁴	1,3·10 ⁵	3,0·10 ⁴	3,5·10 ³	1,0·10 ⁸	0	4,3·10 ⁸
Np-237	1,5·10 ⁶	1,2·10 ⁷	9,3·10 ⁵	4,1·10 ⁶	1,2·10 ⁷	1,8·10 ⁴	1,2·10 ⁵	2,8·10 ⁴	3,2·10 ³	5,4·10 ⁷	0	8,5·10 ⁷
Pu-239	6,2·10 ⁸	4,6·10 ⁸	3,4·10 ⁷	6,1·10 ¹⁰	4,2·10 ⁹	2,7·10 ⁶	8,4·10 ⁶	1,9·10 ⁶	4,2·10 ⁴	1,7·10 ⁹	0	6,8·10 ¹⁰
Pu-240	4,9·10 ⁸	8,4·10 ⁸	2,3·10 ⁷	5,7·10 ¹⁰	4,9·10 ⁹	2,8·10 ⁶	9,5·10 ⁶	2,2·10 ⁶	7,7·10 ⁴	1,9·10 ⁹	0	6,6·10 ¹⁰
Pu-242	1,3·10 ⁷	3,9·10 ⁶	1,2·10 ⁵	1,9·10 ⁶	6,4·10 ⁷	4,1·10 ⁴	1,3·10 ⁵	2,9·10 ⁴	4,0·10 ²	3,5·10 ⁷	0	1,2·10 ⁸
Pu-244	< 1	< 1	< 1	1,1	2,0·10 ⁴	< 1	< 1	< 1	< 1	7,8·10 ²	0	2,1·10 ⁴
Am-241	9,1·10 ¹⁰	2,7·10 ⁹	4,9·10 ⁸	8,4·10 ¹⁰	2,5·10 ¹⁰	2,3·10 ⁷	5,8·10 ⁸	2,1·10 ⁷	1,8·10 ⁶	1,4·10 ¹⁰	0	2,2·10 ¹¹
Am-243	1,8·10 ⁶	2,0·10 ⁷	2,8·10 ⁵	9,2·10 ⁶	5,0·10 ⁷	9,3·10 ³	3,5·10 ⁴	7,9·10 ³	9,5·10 ²	1,4·10 ⁷	0	9,5·10 ⁷
Cm-244	1,5·10 ⁸	1,4·10 ⁹	5,8·10 ⁶	4,2·10 ⁸	3,6·10 ⁹	4,6·10 ⁵	1,8·10 ⁶	4,2·10 ⁵	2,0·10 ⁴	1,0·10 ⁹	0	6,6·10 ⁹
Cm-245	4,4·10 ⁴	4,5·10 ⁵	5,2·10 ³	1,9·10 ⁵	1,2·10 ⁶	2,3·10 ²	8,3·10 ²	1,9·10 ²	1,8·10 ¹	3,6·10 ⁵	0	2,3·10 ⁶
Cm-246	1,0·10 ⁴	1,1·10 ⁵	8,8·10 ²	6,3·10 ⁴	2,4·10 ⁶	0	0	0	3,0	6,9·10 ⁴	0	2,7·10 ⁶
Cm-247	0	0	0	0	2,6·10 ⁴	0	0	0	0	3,4·10 ²	0	2,6·10 ⁴
Cm-248	0	0	0	2,2·10 ⁷	1,0·10 ⁴	0	0	0	0	3,4·10 ²	0	2,2·10 ⁷

Im UMF sind von den aufgeführten Radionukliden ausschließlich Co-60 und Cs-137 enthalten.

Tab. 2.1-4: Stoffliche Zusammensetzung der radioaktiven Abfälle in den einzelnen Einlagerungsgrubenbauen;
Mengenangaben in t.

Stoffgruppen	Südfeld			Westfeld		Nordfeld	Zentralteil		Ostfeld	UMF	gesamtes ERAM
	Abbau 1	Abbau 2	Abbau 3	Nördliche Richtstrecke, Abbau 4 u. 5	Abbaue 1, 2 und 3		Westgesenk	4a-Sohle			
Zellulosehaltige Stoffe	22	1	-	535	848	-	2	-	231	-	1.737
Metalle	159	305	-	2.082	6.011	-	64	-	2.897	129	11.958
Kunststoffe	22	5	-	863	1.556	0,3	1,5	-	279	-	2.814
Silikate	149	697	-	3.074	7.779	34	17	-	4.535	-	16.757
Aktivkohle	3	-	-	30	76	-	-	-	10	-	119
Organische Stoffe	<1	-	-	62	0	-	-	-	-	-	135
Bitumen	6	-	-	77	-	-	-	-	-	-	229
Ionenaustauscherharze (Styrol-Copolymerisat)	35	105	-	303	606	-	-	-	291	-	1.340
Borsäure/Borate	364	196	1.144	20	125	-	-	4	170	-	2.023
Salze	156	143	687	121	99	-	-	2	116	-	1.342
Komplexbildner (EDTA)	25	17	83	1	3,5	-	-	0,3	5	-	135
Wasser (chem. geb.)	104	641	3.751	132	311	-	-	9,5	67	-	5.123
Wasser (phys. geb.)	21	124	3.069	379	575	4	2	12	220	-	4.511
Braunkohlenfilterasche	1.220	2.687	16.100	4.082	9.761	-	-	150	-	-	34.000

Alle Stoffe mit vergleichbaren Eigenschaften wurden zu folgenden Stoffgruppen zusammengefasst:

Zellulosehaltiges Material:
Papier, Zellstoff, Pappe, Holz, Textilien u. a.
Kunststoffe:
Polyvinylchlorid (PVC), Polyethylen (PE), Polystyrol (PS), Alkydharzlack, Gummi u. a.
Metalle:
Stahl (alle eisenhaltigen Materialien), Nichtisenmetalle (Zink, Aluminium, Blei)
Silikate:
Beton, Sand, Bauschutt, Glas, Keramik, Zement, Kieselgur u. a.

Wegen großer Massenanteile oder besonderer Eigenschaften wurden folgende Stoffe extra ausgewiesen:

Aktivkohle, organische Stoffe (Lösungsmittel, Öle, Tierkadaver), Bitumen, Bestandteile getrockneter oder zementierter Verdampferkonzentrate, Filterkonzentrate, Ionenaustauscherharze, wässrige Lösungen (Styrol-Copolymerisat, Borsäure/Borate, Salze, EDTA (Ethylendiamintetraessigsäure), gebundenes Wasser), Braunkohlenfilterasche als Bindemittel bzw. Versatz

2.2 AUSLEGUNGSGRUNDLAGEN FÜR DIE STILLLEGUNG

Das wesentliche Schutzziel für das stillgelegte Endlager wird in den Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk wie folgt konkretisiert: „Nach Beendigung der Betriebsphase muss das gesamte Endlager sicher gegen die Biosphäre abgeschlossen werden. Auch nach der Stilllegung dürfen Radionuklide, die als Folge von nicht auszuschließenden Transportvorgängen aus einem verschlossenen Endlager in die Biosphäre gelangen können, nicht zu Individualdosen führen, welche die Werte des § 45 der StrlSchV überschreiten“ (Anmerkung: § 45 wurde aufgrund der Novellierung vom 20.07.2001 durch den § 47 StrlSchV ersetzt).

Neben diesem Schutzziel des Strahlenschutzes gelten für ein stillgelegtes Endlager weitere Schutzziele:

- Mögliche Senkungen an der Tagesoberfläche als Folge der Konvergenz der Resthohlräume in dem ehemaligen Bergwerk sind zu begrenzen.
- Eine schädliche Verunreinigung des Grundwassers oder eine sonstige nachteilige Veränderung seiner Eigenschaften ist zu vermeiden.
- Die Kritikalitätssicherheit für die endgelagerten Radionuklide ist auch langfristig zu gewährleisten.

Das Stilllegungskonzept für das Endlager ist so auszulegen, dass die Schutzziele eingehalten werden. Die Einhaltung der Schutzziele wird durch Sicherheitsanalysen für die verfüllten und verschlossenen Grubengebäude nachgewiesen.

In den Sicherheitskriterien wird die Endlagerung radioaktiver Abfälle als eine wartungsfreie und zeitlich unbefristete Beseitigung dieser Abfälle definiert. Daher wird die Stilllegung des ERAM so durchgeführt, dass nach Beendigung aller Stilllegungsmaßnahmen kein Kontroll- und Überwachungsprogramm erforderlich ist.

Für den Stilllegungsbetrieb gelten folgende konventionelle und radiologische Schutzziele:

- 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.

Zusätzlich zu den genannten Schutzziele sind die Anforderungen insbesondere folgender Gesetze und Verordnungen zu berücksichtigen:

- Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz - AtG) i. d. F. der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565), zuletzt geändert durch Gesetz vom 29.08.2008 (BGBl. I S. 1793),
- Gesetz zu dem Gemeinsamen Übereinkommen vom 5. September 1997 über die Sicherheit der Behandlung abgebrannter Brennelemente und über die Sicherheit der Behandlung radioaktiver Abfälle (Gesetz zu dem Übereinkommen über nukleare Entsorgung) vom 13. August 1998 (BGBl. II S. 1752),
- Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG) i. d. F. der Bekanntmachung vom 26.09.2002 (BGBl. I S. 3830), zuletzt geändert durch Gesetz vom 23.10.2007 (BGBl. I S. 2470),
- Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG) i. d. F. der Bekanntmachung vom 19.08.2002 (BGBl. I S. 3245), zuletzt geändert durch Gesetz vom 08.04.2008 (BGBl. I S. 686),
- Wassergesetz für das Land Sachsen-Anhalt (WG LSA) i. d. F. der Bekanntmachung vom 12.04.2006 (GVBl. LSA S. 248), zuletzt geändert durch Gesetz vom 07.11.2007 (GVBl. LSA S. 353),
- Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz BNatSchG) i. d. F. vom 25.03.2002 (BGBl. I S. 1193), zuletzt geändert durch Gesetz vom 21.06.2005 (BGBl. I 2005 S. 1818),
- Naturschutzgesetz des Landes Sachsen-Anhalt (NatSchG LSA) vom 23.07.2004 (GVBl. LSA S. 454), zuletzt geändert durch Gesetz vom 20.12.2005 (GVBl. LSA S. 769, 801),
- Bundesberggesetz (BBergG) vom 13.08.1980 (BGBl. I S. 1310), zuletzt geändert durch Gesetz vom 09.12.2006 (BGBl. I S. 2833),
- Baugesetzbuch (BauGB) i. d. F. der Bekanntmachung vom 23.09.2004 (BGBl. I S. 2414), zuletzt geändert durch Gesetz vom 21.12.2006 (BGBl. I S. 3316),
- Gesetz über explosionsgefährliche Stoffe (Sprengstoffgesetz - SprengG) i. d. F. der Bekanntmachung vom 10.09.2002 (BGBl. I S. 3518), zuletzt geändert durch Verordnung vom 10.05.2007 (BGBl. I S. 666) sowie die hierzu ergangenen Verordnungen,
- Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 20.07.2001 (BGBl. I S. 1714), zuletzt geändert durch Gesetz vom 29.08.2008 (BGBl. I S. 1793),
- Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 80/68/EWG des Rates vom 17. Dezember 1979 über den Schutz des Grundwassers gegen Verschmutzung

durch bestimmte gefährliche Stoffe (Grundwasserverordnung) vom 18.03.1997 (BGBl. I S. 542),

- Bauordnung des Landes Sachsen-Anhalt (BauO LSA) vom 20.12.2005 (GVBl. LSA S. 769).

2.3 STILLEGUNGSKONZEPT

Die Stilllegung folgt einem Konzept mit weitgehender Verfüllung der Grubenbaue mit einem stützenden Versatz und technischen Barrieren für die Abdichtung der Einlagerungsbereiche West-Südfeld und Ostfeld sowie der Schächte Bartensleben und Marie.

Mit den umfangreichen 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 Abfälle befinden sich an mehreren Orten im Grubengebäude Bartensleben. Die Mobilisierung und Ausbreitung der in den Abfällen enthaltenen Radionuklide ist durch den Kontakt der Abfälle mit Lösungen möglich. Durch geeignete Wahl von Abdichtungsstandorten lassen sich die Einlagerungsgrubenbaue des Westfelds und des Südfelds sowie des Ostfelds gegenüber den potenziell zutrittsgefährdeten Grubenbereichen der Restgrube abdichten. Die Abdichtung der Einlagerungsbereiche Nordfeld, Zentralteil und UMF ist wegen hoher Durchbauungsgrade und der dort vorhandenen ungünstigen gebirgsmechanischen und hydraulischen Verhältnisse mit der Folge von großräumigen Auflockerungen und Rissbildungen nicht möglich. Dies ist aber auch nicht notwendig, weil das Aktivitätsinventar im Nordfeld und Zentralteil verhältnismäßig gering ist und im UMF nur kurzlebige Radionuklide eingelagert wurden (siehe Kapitel 2.1.4).

Die Abdichtungen zwischen der Restgrube und den Einlagerungsbereichen West-Südfeld und Ostfeld sowie die abschnittsweise vollständige Verfüllung der Strecken, Rolllöcher und Abbaue wirken strömungs- und transportverzögernd. Der mögliche Zutritt von Lösungen in die Einlagerungsbereiche und das Auspressen kontaminierter Lösung durch Konvergenz und Verdrängung infolge Gasbildung aus den Grubengebäuden wird dadurch solange verzögert, bis die Radionuklide mit den ursprünglich höchsten Aktivitäten weitgehend zerfallen sind.

Untertägige Bohrungen, die zu Umläufigkeiten von Abdichtungen führen können, werden abgedichtet, damit hierüber kein sicherheitsrelevanter Lösungs- und Schadstofftransport erfolgen kann (Kapitel 3.1.4).

Die bei der Erschließung der Grubengebäude abgeteufte Schächte stellen Wegsamkeiten zwischen den grundwasserführenden Schichten im Deckgebirge und den Grubengebäuden dar. Bei der Verfüllung der Schächte Bartensleben und Marie werden technische Barrieren (Dichtelemente) errichtet, die sowohl den Zutritt von Lösungen in die verfüllten Grubengebäude als auch den Lösungsaustritt aus den verfüllten Grubengebäuden begrenzen (siehe Kapitel 3.1.6). Durch den Einbau von Verfüllsäulen mit geringer hydraulischer Leitfähigkeit oberhalb der technischen Barrieren im Bereich des Deckgebirges werden zudem die natürlichen Grundwasserverhältnisse wieder hergestellt.

2.4 SICHERHEITSTECHNISCHE AUSLEGUNGSANFORDERUNGEN

Zur Erreichung der in Kapitel 2.2 genannten Schutzziele müssen die in dem Stilllegungskonzept dargestellten technischen Maßnahmen Anforderungen erfüllen. Zentrale Forderung für das Erreichen der Schutzziele ist der Nachweis des sogenannten stabilen Endzustandes für das stillgelegte Endlager, der die Standsicherheit der Grubenbaue und den Erhalt der Integrität der Salinargesteine in der Umgebung der Einlagerungsbereiche umfasst. Im stabilen Endzustand weist das Tragsystem keine Verschlechterungen in den Beanspruchungszuständen (Stand-sicherheit und Integrität) mehr aus. Der stabile Endzustand ist auch Voraussetzung, um den Transport sowohl radioaktiver als auch nichtradioaktiver Schadstoffe in die Biosphäre zu begrenzen und damit die Schutzziele einzuhalten.

Die Standsicherheit der Grubengebäude und die Integrität in der Umgebung der Einlagerungsbereiche im stabilen Endzustand sind sowohl für das trockene als auch für das lösungsgefüllte Endlager unter Berücksichtigung von Auf- und Umlöseprozessen zu gewährleisten. 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, da die lokal veränderliche und im Laufe der Zeit abnehmende Absenkungsrate an der Tagesoberfläche den Wert von 1 mm/a nicht überschreitet.

Zur Gewährleistung der Standsicherheit ergeben sich Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften des Versatzes und an den Verfüllgrad. Der Verfüllgrad ist auch entscheidend für die Begrenzung von Auf- und Umlöseprozessen, die die Geometrie der Grubengebäude so verändern können, dass die langfristige

Standicherheit nicht mehr gewährleistet ist und neue unvorhergesehene Wegsamkeiten entstehen.

Zur Gewährleistung der langfristigen Standicherheit muss der Versatz einen Elastizitätsmodul von mindestens 6.000 MPa und eine einaxiale Zugfestigkeit von 0,7 MPa aufweisen. Er ist mindestens der Festigkeitsklasse C8/10 gemäß DIN EN 206 zuzuordnen. Der zum Einsatz kommende Baustoff erfüllt nachweislich die geforderten Eigenschaften. Durch die hydraulische Einbringtechnik des fließfähigen Materials ist ein ausreichend hoher Verfüllgrad der einzelnen Grubenbaue gewährleistet. Weitere Anforderungen zu den Verfüllmaßnahmen sind im Kapitel 3.1.5 dargestellt.

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 Einlagerungsbereiche gehören zu den nicht zutrittsgefährdeten Grubenbauen. Die Integrität der Einlagerungsbereiche wurde durch eine ausreichend dicke Salzbarriere unter Einhaltung von Sicherheitsabständen nachgewiesen.

Zur Einhaltung der radiologischen und konventionellen Schutzziele muss der Transport von Lösungen in die Einlagerungsbereiche und der Transport von Schadstoffen aus den Einlagerungsbereichen infolge von Konvergenz- und Gasbildungsprozessen behindert werden. Dies wird durch die Errichtung von Abdichtungen zwischen den Einlagerungsbereichen und den übrigen Grubengebäuden und die Verfüllung und Abdichtung der Schächte erreicht. Der Lösungs- und Schadstofftransport wird ausreichend behindert, wenn die Abdichtungen eine Anfangspermeabilität von maximal 10^{-18} m^2 aufweisen und der Lösungstransport durch den Schacht Bartensleben zu Beginn der Nachbetriebsphase auf $0,1 \text{ m}^3/\text{a}$ begrenzt wird. Die zum Einsatz kommenden Baustoffe und die im Rahmen der Bauausführung durchzuführenden qualitätssichernden Maßnahmen gewährleisten die Einhaltung dieser Anforderungen.

Bohrungen sind sicherheitsrelevant, wenn sie parallele Wegsamkeiten zu den Abdichtungen bilden, da diese zu Umläufigkeiten und somit zu einer Verkürzung der Abdichtungslänge führen können. Das Verfüllmaterial für die Bohrungen muss eine Anfangspermeabilität von maximal 10^{-17} m^2 haben. Wegen der geringen Querschnittsflächen der Bohrungen gegenüber der Querschnittsfläche der Abdichtungen ist dann der Transport von Lösungen und Gasen durch die verfüllten Bohrungen im Vergleich zum Transport durch die Abdichtungen vernachlässigbar.

Bei Einhaltung der oben genannten Anforderungen wird auch der Austrag von konventionellen Schadstoffen aus den Grubengebäuden in die Biosphäre begrenzt. Die Schadstoffkonzentrationen im oberflächennahen Grundwasserleiter unterschreiten die Geringfügigkeitsschwellen bzw. Prüfwerte der Empfehlung der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser und die Begrenzungen der Trinkwasserverordnung.

Zentrale Grundlage für die Erreichung der Schutzziele für den Stilllegungsbetrieb ist die Gewährleistung der sicheren Betriebsführung. Die diesbezüglichen Anforderungen sind in den in Kapitel 2.2 zitierten Regelwerken festgelegt.

Anforderungen aus dem Ereignis Erdbeben ergeben sich nur für die Schächte, um die Zugänglichkeit der Grubengebäude zu gewährleisten. Die Standsicherheit der Schächte muss daher für die Dauer der Stilllegungsmaßnahmen nachgewiesen werden. Der Nachweis der ausreichenden Bemessung erfolgt in Anlehnung an KTA-Regel 2201.3. Wegen der geringen Erdbebenintensität sind Auswirkungen im Grubengebäude Bartensleben auf die versetzten radioaktiven Abfälle mit der Folge radioaktiver Freisetzungen nicht zu erwarten. In den übertägigen Anlagen werden während der Durchführung der Stilllegungsmaßnahmen keine radioaktiven Abfälle gehandhabt. Für die Auslegung der Anlagen ist die Norm DIN 4149, Teil 1 als Technische Baubestimmung im Land Sachsen-Anhalt verbindlich. Danach ist eine Erdbebenauslegung der übertägigen Anlagen nicht erforderlich.

Anforderungen aus dem Schutz gegen Hochwasser ergeben sich aufgrund des Höhenunterschiedes (mehr als 20 m) zwischen den Schachtanlagen und dem höchsten Hochwasserstand der Aller nicht.

Ein Zutritt von Schachtwässern, salinaren Lösungen oder Überschusslösungen darf die vorgesehenen Verfüll- und Verschlussmaßnahmen nicht beeinträchtigen. Zur Beherrschung von wässrigen Lösungen sind entsprechende Maßnahmen vorgesehen.

Die übertägigen Gebäude und Anlagen sind gegen die Belastung von Eis, Schnee und Sturm ausgelegt. Sicherheitsrelevante Anlagen sind gegen Blitzschlag geschützt.

Anforderungen aus dem Schutz gegen Flugzeugabsturz und Explosionsdruckwellen über Tage ergeben sich nicht, da über Tage keine radioaktiven Abfälle gehandhabt werden und ein solches Ereignis keinen Einfluss auf die radioaktiven Abfälle unter Tage hat.

An der Geländegrenze des ERAM verläuft eine erdverlegte Gasleitung. Eine unterstellte Freisetzung von Gas aus dieser Leitung kann nur bei angenommenen ungünstigsten Ausbreitungsbedingungen zum kurzfristigen Ansaugen über den Frischwitterschacht Bartensleben führen und folglich eine Erdgaskonzentration in den untertägigen Betriebsbereichen bewirken. Infolge der auftretenden Verdünnung auf dem ≥ 240 m langen Weg vom Ort der Gasfreisetzung bis zum Frischwitterschacht wird die Explosionsgrenze jedoch unterschritten, so dass Auswirkungen auf

die Grubengebäude ausgeschlossen sind und hierfür keine Auslegungsanforderungen bestehen.

Anforderungen für sicherungstechnische Maßnahmen zum Schutz gegen Einwirkungen Dritter sind erfüllt. Die Unterlagen hierzu sind geheimhaltungsbedürftig und gemäß § 3 Abs. 3 AtVfV der Genehmigungsbehörde getrennt vorzulegen.

2.5 BESCHREIBUNG DER ANLAGEN FÜR DEN STILLLEGUNGSBETRIEB

Zur Stilllegung des ERAM werden die vorhandenen Anlagen (Kapitel 2.1) mit ihren technischen Einrichtungen für die Erfordernisse des Stilllegungsbetriebes umgerüstet. Dabei werden die Bauwerke und technischen Einrichtungen größtenteils weitergenutzt. Ein Teil wird den Erfordernissen angepasst. Dies bezieht sich insbesondere auf die Kapazitätserhöhung der Wärmeversorgungsanlage und die Schachtwetterheizung.

Die nachfolgend beschriebenen über- und untertägigen Anlagen sind für die unter Kapitel 2.5.1 genannten Versatzmaterialien bzw. Versatzmengen ausgelegt. Mit diesen Anlagen werden dann die Verfüll- und Verschleißmaßnahmen durchgeführt.

2.5.1 Auslegungskennziffern

Im Rahmen der Stilllegung des ERAM sind verschiedene Versatzmaterialien erforderlich. Insgesamt werden folgende Versatzmengen benötigt:

- ca. 4 Mio. m³ Salzbeton
- geringe Mengen Magnesiabinder, Magnesiabeton und
- geringe Mengen andere Baustoffe.

Die Förderanlage ist für einen max. Durchsatz von 2.900 m³/d ausgelegt. Es ist vorgesehen mit einer Versatzleistung bis ca. 2.500 m³/d zu arbeiten. Die Salzbetonrezepturen sind in Kapitel 3.1 dargestellt.

Nach Planfeststellungsbeschluss werden die Lieferanten der Versatzmaterialien durch Ausschreibung ermittelt. Aus diesem Grund können derzeit Standort und Konstruktion der vorgesehenen Mischanlage nicht festgelegt werden.

Um dennoch die potenziellen Auswirkungen auf die Anwohner und die Umwelt im Rahmen der Umweltverträglichkeitsstudie möglichst abdeckend darstellen und bewerten zu können, wurde ein möglicher Standort in unmittelbarer Nähe des

Bergwerkes und der Wohnbebauung gewählt (Abb. 2.5-1). Für den konstruktiven Aufbau wurden ebenfalls realitätsnahe Annahmen getroffen.

Die vorhandene Pumpanlage südwestlich des Betriebstores wird so angepasst, dass der erforderliche Durchsatz gewährleistet ist.

Die Förderung des Salzbetons erfolgt über Fallleitungen durch den Schacht Bartensleben. Das Einbringen des Salzbetons erfolgt werktags (Montag bis Samstag) weitgehend kontinuierlich (bis zu 24 Stunden täglich).

Der Salzbeton für das Errichten der Abdichtungen (Kapitel 3.1.3) kann sowohl über als auch unter Tage hergestellt werden. Bei einer übertägigen Herstellung wird der Salzbeton mit der Salzbetonförderanlage von über Tage direkt bis zum Abdichtungsstandort unter Tage gepumpt. Bei der untertägigen Herstellung werden die Einzelkomponenten mit der Schachtförderanlage Bartensleben nach unter Tage gefördert und bis in die Nähe der Einbaustelle transportiert. Dort wird der Baustoff mit einer mobilen Misch- und Förderanlage angemischt und zum Abdichtungsstandort gepumpt und eingebracht (siehe Kapitel 2.5.3)

Die Förderung der Einzelkomponenten für die Herstellung von Magnesiabinder und -beton sowie der anderen Baustoffe erfolgt mit dem Fördergestell. Die Schachtförderanlage Bartensleben hat zu Beginn der Stilllegung eine zulässige Nutzlast von 11 t.

Die Bewetterung der Grubengebäude erfolgt zu Beginn der Stilllegung mit einer Gesamtwettermenge von bis zu 5.500 m³/min, die über den Schacht Bartensleben einziehen.

Nach wettertechnischer Trennung werden die Grubengebäude Bartensleben und Marie separat bewettert. Im Schacht Bartensleben ziehen dann max. 1.200 m³/min Frischwetter ein. Im Schacht Marie werden luttengeführt max. 800 m³/min Frischwetter zugeführt. Diese Wettermengen sind ausreichend, um während der Stilllegung die vorgeschriebene Versorgung aller zu belegenden Arbeitsorte und zu befahrenden Grubenbaue mit Frischwettern zu gewährleisten. Die wettertechnischen Einrichtungen werden den jeweiligen Erfordernissen angepasst.

2.5.2 Übertägige Anlagen

Schachtanlage Bartensleben

Die Bauwerke und technischen Einrichtungen zur Stilllegung des ERAM sind aus Abb. 2.5-1 ersichtlich. Sie sind nachfolgend nach den Nummern in der Abbildung aufgelistet (Länge x Breite x Höhe).

1–4 Verwaltungsgebäude

- 1 Betriebsgebäude (41 m x 13 m x 8 m)
- 2 Verwaltungs-, Kauen- und Kantinengebäude (29 m x 11 m x 9 m)
- 3 Büro- und Polizeicontainer (24 m x 12 m x 6 m),
Laborcontainer zur Umgebungsüberwachung (12 m x 12 m x 6 m)
- 4 Bürogebäude II (20 m x 13 m x 4 m)
- 5 Mehrzweckgebäude (36 m x 30 m x 11 m) einschließlich
Förderturm (20 m x 12 m x 45 m) mit
Schachtförderanlage (Nutzlast 11 t)

6–10 Werkstätten/Schaltanlagen

- 6 Mechanische-/E-werkstatt (25 m x 12 m x 5 m)
- 7 Bauwerkstatt (17 m x 9 m x 4 m)
- 8 Klempnerwerkstatt (27 m x 9 m x 7 m)
- 9 Werkfeuerwehr und Kfz-Pflegekomplex (33 m x 16 m x 15 m)
- 10 Trafo-/Schaltstation (26 m x 13 m x 11 m)

11–13 Lager

- 11 Materiallager, Archiv (49 m x 19 m x 7 m)
- 12 Freilager (ca. 1.625 m²)
- 13 Lager für wassergefährdende und brennbare Stoffe (ca. 280 m²)

14–16 Wasserentsorgung

- 14 Anschwemmfiltergebäude (7 m x 4 m x 5 m)
- 15 Stapelbecken (18 m x 6 m, ca. 110 m³)
- 16 Container zur Abwasserüberwachung (3 m x 2 m x 2 m)

17–18 Löschwasserversorgung

- 17 Notwasserversorgung (15 m x 12 m x 5 m,
mit überdachtem Löschwasserbecken 220 m³)
- 18 Feuerlöschteich (42 m x 5 m x 2 m, Nutzvolumen ca. 270 m³)
- 19 ehemaliges Wachhilfsgebäude (21 m x 11 m x 4 m)
- 20 Zuluftbauwerk für Grubenwetter (10 m x 9 m x 8 m)
- 21 Wetterstation (4 m x 3 m x 3 m; Gittermasthöhe 25 m)
- 22 Uhrengebäude (6 m x 5 m x 11 m) - Baudenkmal

- 23 Einfriedung
- 24 Wärmeversorgungsanlage (20 m x 13 m x 7 m), Schornsteinhöhe 18 m
- 25 Elektroenergieversorgung (6 m x 5 m x 4 m)
- 26 Wachgebäude (11 m x 11 m x 4 m)
- 27 Containerfreifläche (100 m x 20 m)
- 28 Containerhalle (49 m x 24 m x 14 m)
- 29 Betankungsanlage (16 m x 10 m x 7 m)
- 30 Notzufahrten
- 31 Werkszufahrt
- 32 Rohrleitungstrasse
- 33 Salzbetonförderanlage (25 m x 20 m x 13 m)
- 34 ehemaliger Kohlelagerplatz (ca. 1.275 m²)
- 35 möglicher Standort Mischanlage, Bunker

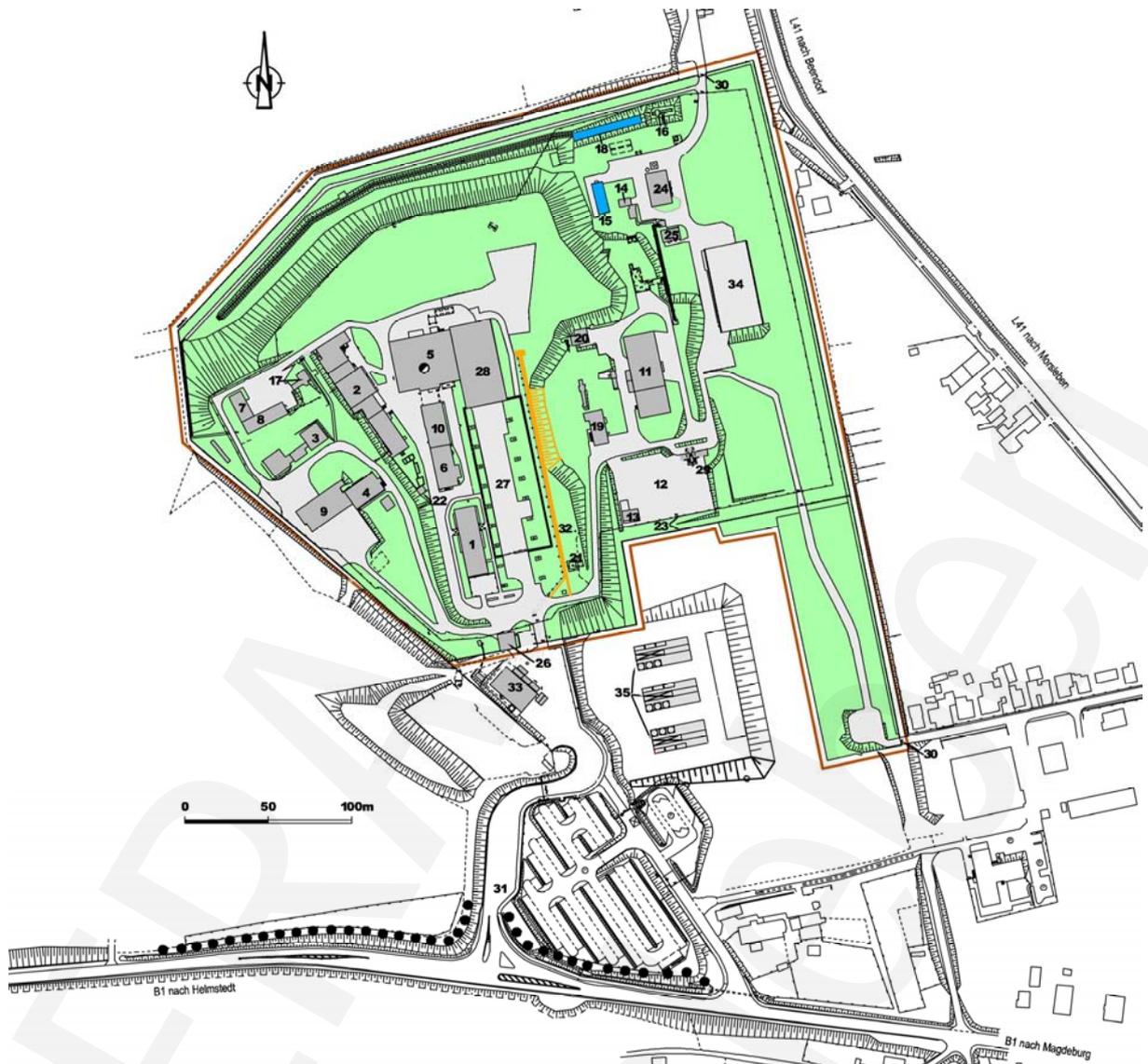
Die Infrastruktureinrichtungen bleiben wie in Kapitel 2.1.1 unter "Schachtanlage Bartensleben" beschrieben in Substanz und Funktion grundsätzlich erhalten und werden weitergenutzt bzw. soweit notwendig den Erfordernissen angepasst.

Das Zuluftgebäude für Grubenwetter (Abb. 2.5-1, Nr. 20) wird temporär weiter genutzt. Nach der Verlegung des Frischwetterweges und der Schachtwetterheizung in das Mehrzweckgebäude Schacht Bartensleben wird das Zuluftgebäude funktionslos.

Die Rohrleitungstrasse für die Rohrleitungen zur Salzbetonförderung und Spülwasserrückführung (Abb. 2.5-1, Nr. 32) wird im Rahmen der Stilllegung weiter genutzt und auf drei Rohrleitungen für den Salzbetontransport erweitert.

Innerhalb der kerntechnischen Anlage sind durch Bauwerke und innerbetriebliche Straßen und Plätze insgesamt rund 38.000 m² überbaut (versiegelte und teilversiegelte Flächen).

Die Anlagen zur Umgebungsüberwachung gemäß den Anforderungen der REI werden in den Kapiteln 1.2 und 3.5 beschrieben.



- | | | |
|---|--|---|
| 1 Betriebsgebäude | 15 Stapelbecken | 30 Notzufahrten |
| 2 Verwaltungs-, Kauen- und Kantinengebäude | 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. 2.5-1: Schachtanlage Bartensleben, vorhandene und geplante überträgige Anlagen.

Schachtanlage Marie

Von den übertägigen Anlagen der Schachtanlage Marie gehören nur die Schachthalle und das Abwetterbauwerk zur kerntechnischen Anlage des ERAM. Die vorhandenen Bauwerke und technischen Einrichtungen der Schachtanlage Marie bleiben in der Substanz zunächst erhalten und werden während der Stilllegung des ERAM bis auf Weiteres genutzt. Sie sind aus Abb. 2.1-2 ersichtlich. Im Rahmen der Stilllegung werden Änderungen in der Funktion bzw. Nutzung der Bauwerke und Anlagen eintreten.

Sie sind nachfolgend nach den Nummern in der Abbildung aufgelistet (Länge x Breite x Höhe).

- 1 Umladehalle (11 m x 15 m x 11 m)
- 2 Schachthalle (15 m x 15 m x 18 m) mit Fördergerüst (Höhe 24 m) und Schachtförderanlage (Nutzlast 4 t) – Baudenkmal
- 3 Fördermaschinengebäude (23 m x 17 m x 11 m)
- 4 Trafo-/Schaltstation (8 m x 16 m x 7 m)
- 5 Zisterne (ca. 80 m³ Nutzinhalt)
- 6 Werkstatt (50 m x 13 m x 8 m)
- 7 Wachhaus (8 m x 6 m x 3 m)
- 8 Einfriedung
- 9 Sozialgebäude (61 m x 32 m x 13 m)
- 10 Heizcontainer (6 m x 3 m x 2 m)
- 11 Garagen (11 m x 6 m x 3 m)
- 12 Abwetterbauwerk (13 m x 10 m x 6 m) mit Abluftkamin (Durchmesser 2,30 m, Höhe ca. 30 m)

Auf der Schachtanlage Marie sind durch Bauwerke und innerbetriebliche Straßen und Plätze Flächen von insgesamt rund 11.000 m² überbaut (versiegelte und teilversiegelte Flächen).

2.5.3 Untertägige Anlagen

Die Schächte und technischen Einrichtungen, die für den ordnungsgemäßen Grubenbetrieb erforderlich sind, bleiben in Substanz und Funktion erhalten.

Die Schachtförderanlage Bartensleben steht mit der Nutzlast von 11 t zur Verfügung.

Die Schachtförderanlage Marie steht mit einer Nutzlast von 4 t zur Verfügung.

Die vorhandenen untertägigen Verbindungen zwischen den Schachtanlagen Bartensleben und Marie dienen bis zur wettertechnischen Trennung als Flucht- und Rettungsweg sowie als Wetterwege. Die Bewetterung vor und nach der wettertechnischen Trennung der beiden Grubengebäude ist in Kapitel 3.1.5 dargestellt. Die Bewetterungsanlagen sind für den Zeitraum vor wettertechnischer Trennung auf eine einziehende Gesamtwettermenge von bis zu 5.500 m³/min ausgelegt. Die Wetterführung wird den sich ändernden Verhältnissen angepasst.

Zur Versorgung der unter Tage eingesetzten Fahrzeuge und Geräte mit Dieselmotorkraftstoff befinden sich im Bereich der Schachtanlage Bartensleben ein Betriebsstofflager mit Betankungsplatz auf der -291 m-Sohle und auf der Schachtanlage Marie ein Betriebsstofflager mit Betankungsplatz auf der -231 m-Sohle. Die Fahrzeuge und Geräte im Kontrollbereich werden über ein Betriebsstofflager mit Betankungsplatz auf der -372 m-Sohle versorgt. Die Betankungsplätze werden über mobile Kraftstoffcontainer versorgt. Die Kraftstoffcontainer werden über Tage an der Betankungsanlage (Abb. 2.5-1, Nr. 29) befüllt, über den Schacht Bartensleben nach unter Tage gefördert und mit Fahrzeugen zu den jeweiligen Betankungsplätzen transportiert. Die Kraftstoffcontainer zur Versorgung des konventionellen Bereichs werden zur -291 m-Sohle, die für den Kontrollbereich zur -372 m-Sohle gefördert. Alternativ können die befüllten Kraftstoffcontainer zur Versorgung des Betankungsplatzes auf der Schachtanlage Marie über Tage zum Schacht Marie und dann nach unter Tage gefördert werden. Die Fahrzeuge und Geräte werden unter Tage direkt aus den Kraftstoffcontainern betankt. In Grubenbauen mit erhöhten Brandlasten wie Betriebsstofflager sowie in Gesenken ist durch die räumliche Trennung von Brandlasten und durch bauliche und anlagentechnische Maßnahmen die Brandgefährdung minimiert (Kapitel 2.5.4).

Elektrische Energie mit einer Spannung von 6 kV wird über Schachtkabel in die Grubenfelder Bartensleben und Marie eingebracht und dort an die Versorgungsschwerpunkte verteilt. Die Schachtanlagen sind elektrisch voneinander getrennt. Für größere Verbraucher wird die 0,7-kV-Ebene verwendet, für Kleinverbraucher stehen 230 V zur Verfügung. Versorgungsschwerpunkte, die weit von den 6-kV-Schaltanlagen entfernt sind, werden über Kufenstationen (mobile 6/0,7-kV-Trafos) an die Energieversorgung angeschlossen. Für bestimmte Einrichtungen kommen Netzersatzeinrichtungen wie zum Beispiel Batterien oder Akkumulatoren zum Einsatz.

Die Frischwasserversorgung erfolgt mit Wassertransportwagen, die über Tage auf der Schachtanlage Bartensleben aus der Trinkwasserversorgung befüllt werden. Aus

den Wassertransportwagen wird das Wasser in untertägige Vorratsbehälter umpumpt. Die Löschwasserversorgung erfolgt über die Feuerlöschleitung der Schachtanlage Bartensleben über Tage und die untertägigen Schachtwasserhaltungen der Schächte Bartensleben und Marie.

Auf der Schachtanlage Bartensleben befindet sich über Tage die Zentrale Warte, in der alle Messungen sowie alle Betriebs- und Störmeldungen aus allen leittechnisch erfassten Funktionsbereichen des Betriebes auflaufen und in konventioneller und bildschirmgestützter Anzeige-/Bedientechnik dargestellt werden. Meldungen und Messungen der Strahlenschutztechnik laufen in der Warte Strahlenschutz unter Tage auf.

Für die untertägige Kommunikation sind drahtgebundene und funkgetragene Kommunikationseinrichtungen vorhanden. Die Kommunikationsanlagen der Schachtanlagen Bartensleben und Marie sind durch untertägig verlegte Verbindungskabel miteinander gekoppelt.

Für bergbauliche Maßnahmen bei der Auffahrung, Hohlraumsicherung, Haufwerkförderung und Grubenunterhaltung sowie zum Umschlag, Transport und Einbringen von Versatzstoffen kommen entsprechende Maschinen und maschinelle Ausrüstungen zum Einsatz. Dazu gehören z. B. verschiedene Befahrungs-, Materialtransport- und Werkstattfahrzeuge, Fahrlader, Teilschnittmaschinen, Flurförderzeuge, bewegliche Maschinen und Geräte sowie Hebezeuge.

Die unter Tage eingesetzten Maschinen und Einrichtungen werden in entsprechend ausgerüsteten mechanischen, Elektro- und Kfz-Werkstätten auf der 2. Sohle (-291 m NN) im konventionellen Bereich und auf der 4. Sohle (-372 m NN) im Kontrollbereich instandgehalten. Den Werkstätten angegliedert sind Materiallager. In der Werkstatt auf der 2. Sohle befindet sich ein Pausenraum für die Belegschaft. Auf der 4. Sohle befindet sich in der Nähe der Werkstatt ein Getränke-Stützpunkt, der nach Passieren eines Hand-Fuß-Kleidermonitors betreten werden kann.

Schleusungen von Personen und Material aus dem Kontrollbereich können über zwei Kontrollbereichs-Übergänge durchgeführt werden (siehe Abb. 3.1-2). Ein Kontrollbereichs-Übergang befindet sich im Bereich des Füllortes Schacht Bartensleben auf der 4. Sohle (-372 m NN), der zweite am Fußpunkt des Flachen 2 mit einer Kontaminationskontrolle mittels Hand-Fuß-Kleidermonitor (Kapitel 3.5).

Die Anlagen zum Transport und zum Einbringen von Salzbeton werden entsprechend den Erfordernissen des Verfüllbetriebs installiert. Der Salzbeton wird durch bis zu drei Rohrleitungen von über Tage durch den Schacht Bartensleben bis zu den Einbringorten gefördert. Die Rohrleitungen werden auf der 2. Sohle (-291 m NN) aus dem Schacht Bartensleben ausgefädelt und von hier aus auf die verschiedenen Sohlenniveaus verlegt. Das Rohrleitungssystem wird den wechselnden Verfüllbereichen, der Verfüllfolge und dem Verfüllfortschritt angepasst. Der Versatztransport wird durch entsprechende Anlagenteile wie

- Absperrarmaturen
- Rohrweichen
- Molchschleusen
- Druckmesseinrichtungen
- Durchflussmesseinrichtungen
- Druckentlastungsvorrichtungen

überwacht und gesteuert.

Die Rohrleitungsstränge werden regelmäßig mit Reinigungsmolchen gesäubert. Die bei den An- und Abfahrvorgängen, der Reinigung und beim Spülen der Rohrleitungen anfallende Flüssigkeit wird unter Tage in örtlichen Sammelbecken in der Nähe der Einbringorte aufgefangen und über ein separates System von Spülwasserrückführleitungen bis zu einer zentralen Spülwassersammlung auf der 2. Sohle (-291 m NN) in Schachtnähe gefördert. Von dort wird sie durch eine Spülwasserhebeleitung durch den Schacht Bartensleben nach über Tage gepumpt und erneut für das Anmischen des Salzbetons verwendet. Von den Streckenleitungen unter Tage zweigen zu den Einbringorten flexible Hochdruckschlauchleitungen ab, die ein leichtes Umlegen auf verschiedene zu verfüllende Grubenbaue ermöglichen. Der Rohrleitungsabschnitt von der jeweiligen untertägigen Molchschleuse bis in den zu verfüllenden Grubenbau wird zur Vermeidung des Spülwassereintrags mit Druckluft und verlorenen Reinigungsmolchen gesäubert.

Der Salzbeton für die segmentweise Errichtung der Abdichtungen kann mit dem gleichen Rohrleitungssystem von über Tage zu den Abdichtungsstandorten gefördert und dort eingebaut werden (Kapitel 3.1.3).

Bei einer untertägigen Herstellung des Baustoffs für die Errichtung der Abdichtungen wird eine mobile Misch- und Förderanlage errichtet und der Baustoff mit Rohrleitungen zur Einbaustelle gefördert. Erforderliche Injektionsbaustoffe werden vor Ort angemischt und eingebracht.

Alle übrigen Materialien (Kleinmengen) werden über das Fördergestell nach unter Tage gefördert und mit Transportfahrzeugen zum Einsatzort transportiert.

Zu Beginn der Stilllegung umfasst der Kontrollbereich folgende Bereiche: -372 m-Sohle, mit Ausnahme des schachtnahen Bereichs, und -346 m-Sohle sowie -420 m-Sohle bis -500 m-Sohle. Genauere Angaben zum Kontrollbereich finden sich im Kapitel 3.1.2.

Innerhalb des Kontrollbereichs befindet sich die Konditionierungsanlage. Zur Konditionierung von gegebenenfalls zu Beginn der Stilllegung anfallenden flüssigen betrieblichen radioaktiven Abfällen wird die vorhandene Konditionierungsanlage im Bereich Südfeld -372 m-Sohle Bartensleben weiterbetrieben (Kapitel 3.4.1). Dabei werden die Flüssigkeiten in 200-l-Fässern mit Bindemitteln (einer Sand-Zement-

Mischung) vermischt. Nach Aushärten der Mischung und Verdeckeln der Fässer werden die konditionierten Abfälle im ERAM endgelagert.

Die während der Konditionierung der flüssigen betrieblichen radioaktiven Abfälle anfallenden Proben werden an einem Arbeitsplatz mit Radionuklidabzug in der Nähe des Ortes der Konditionierung im Bereich des Südfeldes -372 m-Sohle (4. Sohle) untersucht. Die Abwetter werden über einen im Abzug integrierten Filter und eine Lutte in das Abluftsystem Südfeld geführt. Sie gelangen von dort zusammen mit den übrigen Abwettern des Südfeldes zum Schacht Bartensleben. Die Bereiche, in denen im Zusammenhang mit der Stilllegung mit radioaktiven Stoffen umgegangen wird, sowie die Mengen und Aktivitäten sind in Kapitel 3.4.1 dargestellt. Die mögliche Freisetzung radioaktiver Stoffe und die entsprechenden Gegenmaßnahmen werden im Rahmen der Störfallanalyse für anlageninterne Ereignisse im Kapitel 5.3 spezifisch für jeden Einlagerungsbereich betrachtet.

2.5.4 Brandschutz

Ein wichtiger Schutzfaktor sowohl im Kontrollbereich als auch im konventionellen Bereich ist der Brandschutz.

Das Brandschutzkonzept bei der Stilllegung des ERAM umfasst die brandschutzrelevanten Schutzziele sowie die aktiven, die passiven und die administrativen Maßnahmen des Brandschutzes, die in ihrem Zusammenwirken die Einhaltung der Schutzziele gewährleisten. Der Brandschutz unter kerntechnischen Gesichtspunkten berücksichtigt alle Betriebszustände des normalen und anomalen Betriebes.

Für das ERAM gelten folgende konventionelle Schutzziele des vorbeugenden baulichen Brandschutzes:

- Verhinderung des Feuerüberschlags zwischen Gebäuden und Gebäudeteilen durch räumliche Anordnung und Einhaltung von Sicherheitsabständen zwischen den Gebäuden.
- Ver- bzw. Behinderung der Brandentstehung und Brandausbreitung durch Auswahl geeigneter Bauteile und Baustoffe.

Die Ziele des kerntechnischen Brandschutzes im ERAM sind:

- Evtl. auftretende Brände bei der Handhabung oder Lagerung radioaktiver Stoffe bereits in der Phase des Entstehungsbrandes zu beschränken und in kürzester Zeit zu löschen.
- Brände in konventionellen Anlagenbereichen des ERAM durch aktive und passive Brandschutzmaßnahmen so einzudämmen, dass ein Übergreifen des Feuers auf Anlagenbereiche mit radioaktiven Stoffen ausgeschlossen ist.

Die Maßnahmen des kerntechnischen Brandschutzes bewirken, dass es zu keiner Gefährdung der Bevölkerung in der Umgebung der Anlage aufgrund einer brandbedingten Freisetzung radioaktiver Stoffe oder einer erhöhten Strahlenbelastung infolge eines Brandereignisses kommt. Weiterhin soll eine brandbedingte Strahlenexposition des Betriebs- und Rettungspersonals vermieden oder unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalls so gering wie möglich gehalten werden.

Die wesentlichen Brandlasten auf den Schachtanlagen Bartensleben und Marie sind Fahrzeuge und Maschinen mit Verbrennungsmotoren, Elektroinstallationen und -antriebe sowie Kunststoffe, Holz, Papier und Textilien. Darüber hinaus fallen als Brandlasten in bestimmten Bereichen noch Betriebsstoffe, technische Gase und Chemikalien an. Durch betriebliche Regelungen wird Vorsorge getragen, dass die brennbaren Betriebsmittel nur in dem betrieblich notwendigen Umfang eingesetzt werden und eine Vorrathaltung nur in speziellen dafür ausgelegten Behältern, Räumen und Anlagenbereichen betrieben wird.

Die Maßnahmen zum Brandschutz über Tage umfassen:

- Administrative Brandschutzmaßnahmen,
- Bauliche Brandschutzmaßnahmen,
- Rettungswege/Rettungseinrichtungen,
- Branderkennung,
- Löscheinrichtungen,
- Begehungen bzw. Übungen der Feuerwehr.

Die Brandschutzmaßnahmen unter Tage umfassen:

- Administrative Brandschutzmaßnahmen,
- Bauliche Brandschutzmaßnahmen,
- Überdeckung von Abfällen (Kapitel 2.1.4 und Kapitel 5.3.1),
- Rettungseinrichtungen und -wege unter Tage,
- Branderkennung in den Grubengebäuden,
- Brandbekämpfungseinrichtungen unter Tage,
- Brandschutz an Fahrzeugen in den Grubengebäuden,
- Unterhaltung einer Grubenwehr,
- Explosionsschutz.

Hinsichtlich des Explosionsschutzes werden die bestehenden Maßnahmen zur Erkennung und Verhinderung explosionsfähiger Gasgemische aufrechterhalten. Zusätzlich zu allgemeinen Gasmessungen erfolgen halbjährliche Laboranalysen mit einem Gasanalysegerät.

2.6 GEPLANTE VERFÜLL- UND VERSCHLIEß- MAßNAHMEN IN DEN GRUBENGEBÄUDEN

Für die Stilllegung der Grubengebäude sind umfangreiche Verfüll- und Verschleißmaßnahmen geplant. Durch diese wird das Volumen der Grubenbaue reduziert und ein möglicher Lösungs- und Schadstofftransport verzögert. Beginnend auf den unteren Sohlen werden die Grubengebäude von den äußeren Bereichen in Richtung auf die Schächte fortlaufend mit Salzbeton verfüllt. Der Salzbeton wird über Tage angemischt und über Rohrleitungen in die Grubenbaue gepumpt.

Der Umfang der Verfüllmaßnahmen ist durch die Einteilung in Verfüllkategorien und die Zuordnung der einzelnen Grubenbaue festgelegt (Kapitel 3.1.5).

Im Rahmen der Stilllegung werden ca. 4 Mio. m³ Salzbeton in die Grubengebäude eingebracht. Der Salzbeton M2 (Kapitel 3.1.3) wird für den Bau von Abdichtungen im Steinsalz verwendet, eine Abdichtung im Anhydrit wird aus Magnesiabeton (Kapitel 3.1.3) errichtet. Für den Versatz der anderen Grubenbaue kommt Salzbeton M3 (Kapitel 3.1.5) als Massenversatz zum Einsatz.

In Kapitel 5.4 werden die geführten Sicherheitsnachweise für die Verfüllmaßnahmen dargestellt.

Im Folgenden wird der Zustand der Grubengebäude nach Abschluss der in Kapitel 3.1 beschriebenen Stilllegungsmaßnahmen dargestellt.

Die Grubengebäude sind dann weitgehend mit Salzbeton versetzt und stabilisiert. Das Volumen der Grubenhohlräume ist entsprechend den Auslegungsanforderungen reduziert. Zum Verzögern eines möglichen Lösungs- und Schadstofftransports sind Abdichtungen errichtet. Außerdem sind die Schächte abgedichtet und vollständig verfüllt.

Die Tab. 2.6-1 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. 2.6-1: 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.

Der Zustand nach Durchführung der Maßnahmen ist in den Abb. 2.6-1 und Abb. 2.6-2 dargestellt. Die Abbildungen Abb. 2.6-3 und Abb. 2.6-4 veranschaulichen schematisch den Endzustand auf der -372 m-Sohle und entlang der Ostquerschläge unter Berücksichtigung der geologischen Randbedingungen.

An 22 ausgewählten Lokationen sind nach der Stilllegung Abdichtungen errichtet, die aus insgesamt 69 Segmenten bestehen (siehe Abb. 2.6-2 und Tab. 2.6-2). Die Anordnung der Abdichtungen ermöglicht die hydraulische Trennung der Einlagerungsbereiche West-Südfeld und Ostfeld von der Restgrube.

Tab. 2.6-2: Abdichtungen (Segmentanzahl, Länge)

Bezeichnung	Sohle	Segmentanzahl	Länge in m
Ostquerschlag (Ostfeld)	-291 m NN	6	150
	-372 m NN	4	110 ¹⁾
nördliche Verbindungsstrecke	-253 m NN	3	75
	-291 m NN	2	38
	-332 m NN	1	26
Ostquerschlag (West-Südfeld)	-253 m NN	3	75
	-291 m NN	4	75
	-332 m NN	3	75
	-372 m NN	1	26
Wetterstrecke südlich	-253 m NN	3	75
	-291 m NN	3	75
	-332 m NN	4	75
	-372 m NN	3	70
1. südliche Richtstrecke	-291 m NN	3	75
Wetterrollloch südlich	-253 m NN bis -372 m NN	3	119
Verbindungsstrecke Bergmühle – südl. Wetterstrecke	-332 m NN	2	40
nördliche Richtstrecke	-291 m NN	7	200
1. nördliche Richtstrecke	-332 m NN	10	200
Westquerschlag	-332 m NN	1	25
	-372 m NN	1	25
Richtstrecke nach Süden	-372 m NN	1	25
Störreservelager	-372 m NN	1	25
22 Lokationen	Segmente:	69	

1) Gesamtbauwerkslänge 150 m inklusive Widerlager und Vordichtung

Der Einlagerungsbereich Ostfeld ist dann durch zwei Abdichtungen von der Restgrube getrennt. Die beiden Abdichtungen sind in den Ostquerschlägen auf der 2. und 4. Sohle östlich des Kalilagerteils E angeordnet.

Zur Trennung des Einlagerungsbereichs West-Südfeld von der Restgrube existieren 16 Abdichtungen. Sie liegen auf den Niveaus der 1., 2., 3. und 4. Sohle zwischen den Kalilagerteilen B und C sowie in der nördlichen Richtstrecke auf der 2. Sohle und der 1. nördlichen Richtstrecke auf der 3. Sohle. Zwischen den Lagerteilen B und C ist zusätzlich zu den Streckenabdichtungen in den Ostquerschlägen, den nördlichen und südlichen Verbindungs- bzw. Wetterstrecken sowie der 1. südlichen Richtstrecke auf der 2. Sohle und der Verbindungsstrecke Bergemühle auch das Wetterrollloch von der 1. bis zur 4. Sohle vertikal abgedichtet.

Innerhalb des Einlagerungsbereichs West-Südfeld sorgt der Bau von vier weiteren Abdichtungen dafür, dass auch im Falle eines Lösungszutritts aus der Restgrube in den Einlagerungsbereich das Westfeld zunächst noch trocken bleibt. Diese Abdichtungen liegen auf der 4. Sohle im Störreservelager, im Westquerschlag und in der Richtstrecke nach Süden sowie auf der 3. Sohle im Westquerschlag.

Um den entstehenden Gasdruck im Westfeld auszugleichen, befindet sich zwischen dem West- und Südfeld ein ca. 200 m langes Großbohrloch, das mit Schotter verfüllt und im Südfeld an der obersten Sohle angeschlossen ist.

Sicherheitsrelevante Bohrungen sind abgedichtet (siehe Kapitel 3.1.4).

Die Schächte Bartensleben und Marie sind vollständig verfüllt und jeweils mit Abdichtungen versehen.

Durch diese Maßnahmen sind die Schächte und Grubengebäude wartungsfrei und langzeitsicher verfüllt. Damit kann das ERAM als kerntechnische Anlage entwidmet und aus der atomrechtlichen Aufsicht entlassen werden.

Grubengebäude Bartensleben und Marie

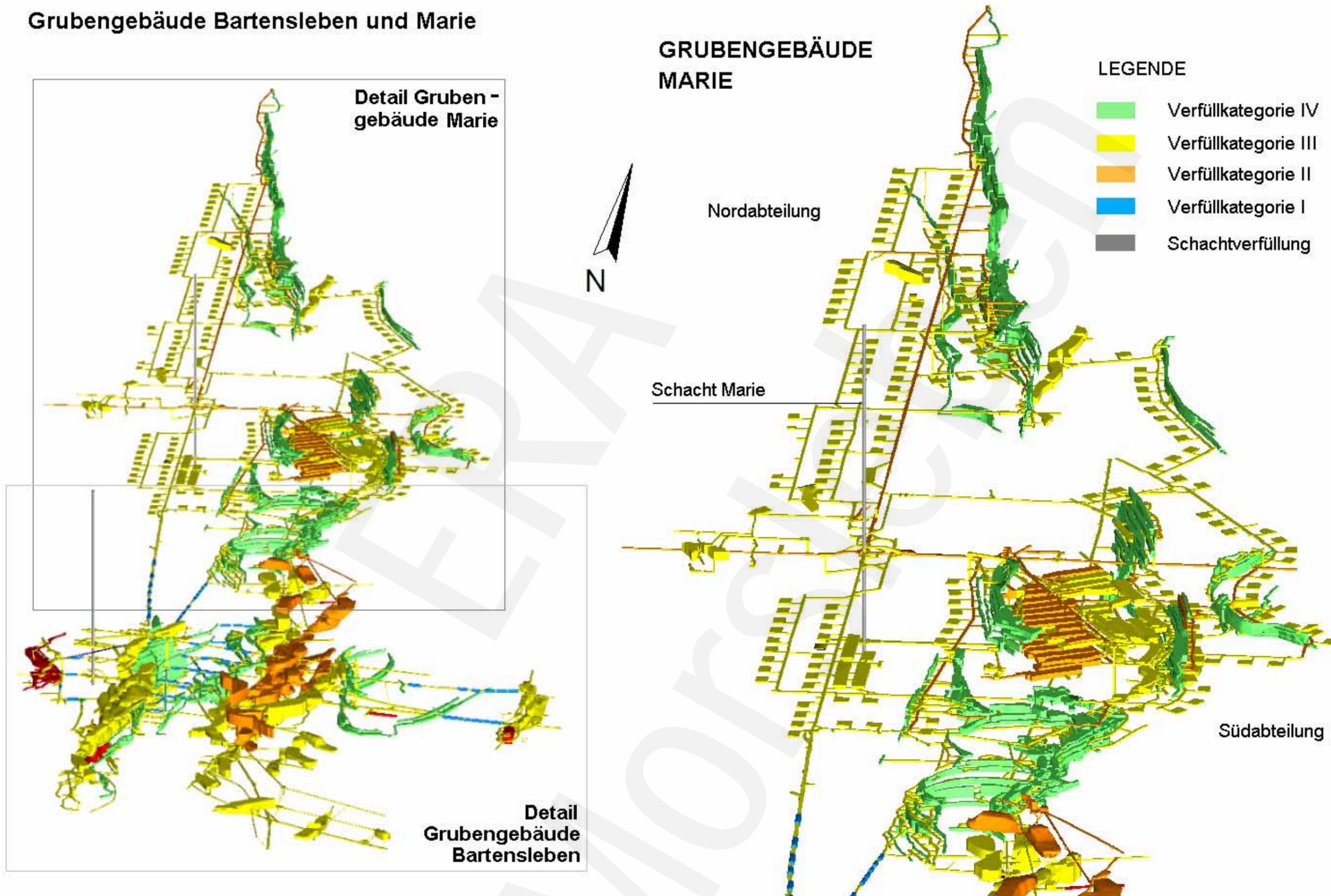


Abb. 2.6-1: Verfülltes und verschlossenes Grubengebäude Bartensleben und Marie (nicht maßstabsgerecht); Grubengebäude Marie – Darstellung der Verfüllkategorien.

GRUBENGEBÄUDE BARTENSLEBEN

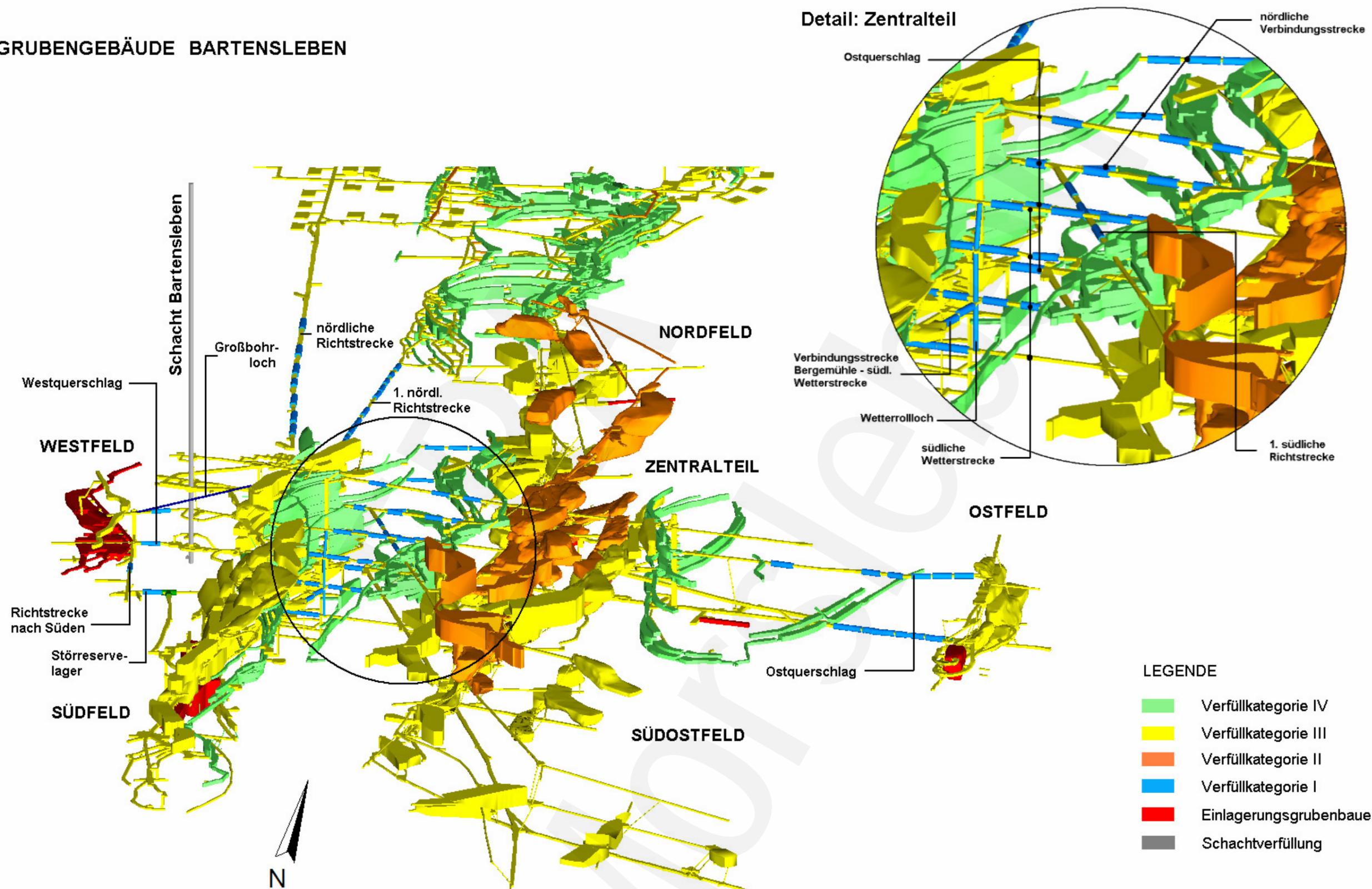


Abb. 2.6-2: Verfülltes und verschlossenes Grubengebäude Bartensleben (nicht maßstabsgerecht); Grubengebäude Bartensleben – Darstellung der Verfüllkategorien.

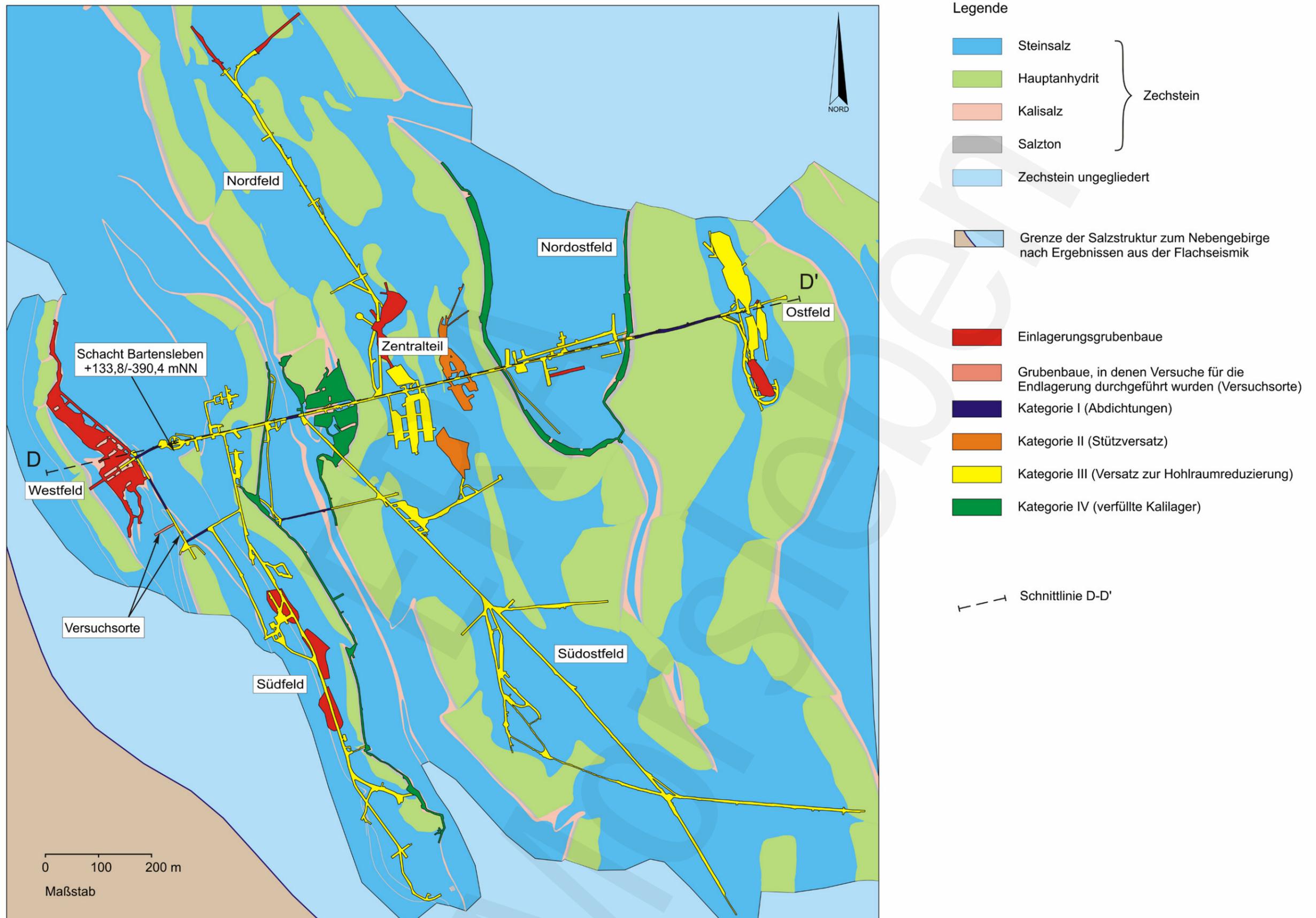


Abb. 2.6-3: Verfülltes und verschlossenes Grubengebäude Bartensleben; schematisierter Sohlenriss der 4. Sohle (-372 m-Sohle) mit Einlagerungsgrubenbauen der 4a-, 4. und 5a-Sohle.

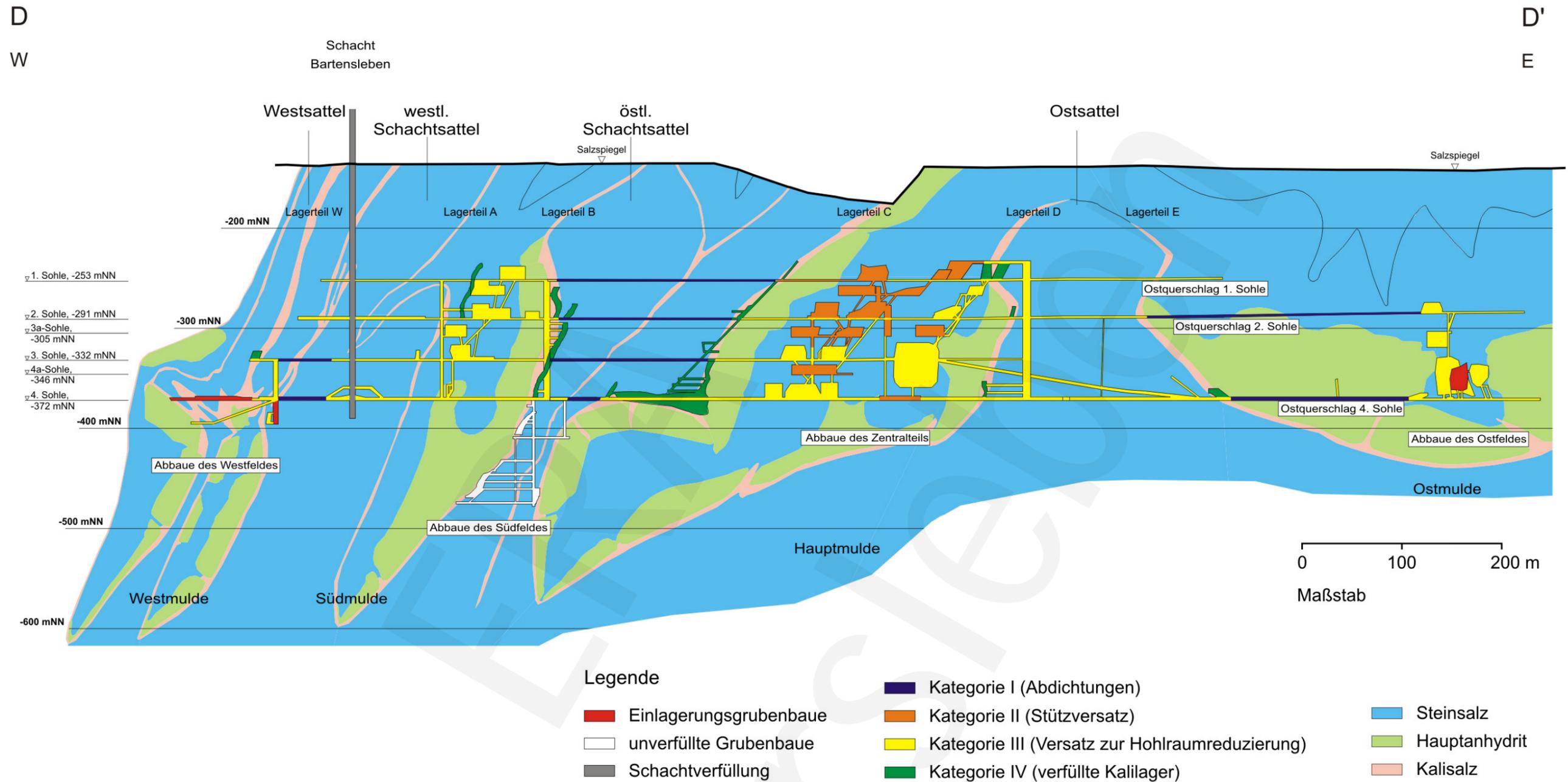


Abb. 2.6-4: Verfülltes und verschlossenes Grubengebäude Bartensleben; schematisierter West-Ost-Schnitt (Schnittlinie D-D' siehe Abb. 2.6-3) entlang der Ostquerschläge mit Einlagerungsgrubenbauen im West- und Ostfeld.

2.7 QUALITÄTSMANAGEMENT (QM)

2.7.1 Qualitätsmanagementsystem

Das BfS stellt sicher, dass bei der Stilllegung des ERAM die Regelungsinhalte der Dauerbetriebsgenehmigung und des Planfeststellungsbeschlusses, der bergrechtlichen Zulassungen sowie sonstiger Vorgaben eingehalten werden. Dieses erfolgt u. a. durch ein anforderungsgerechtes Qualitätsmanagement (QM).

Das BfS hat hierfür ein Qualitätsmanagementsystem (QM-System) in Anlehnung an die DIN EN ISO 9001 eingeführt, das – soweit sinnvoll anwendbar – die Forderungen der kerntechnischen Regel KTA 1401 erfüllt.

Die Verantwortung für das Qualitätsmanagement bei der Stilllegung des ERAM hat das BfS. Das BfS stellt sicher, dass notwendige qualitätssichernde Maßnahmen auch von Auftragnehmern (AN) des BfS beachtet werden. Die fachlich unabhängige Stelle „Qualitätsmanagement“ prüft beim BfS und seinen AN die Anwendung und Wirksamkeit des QM-Systems. Das Endlager-QM-System ist in Abb. 2.7-1 dargestellt.

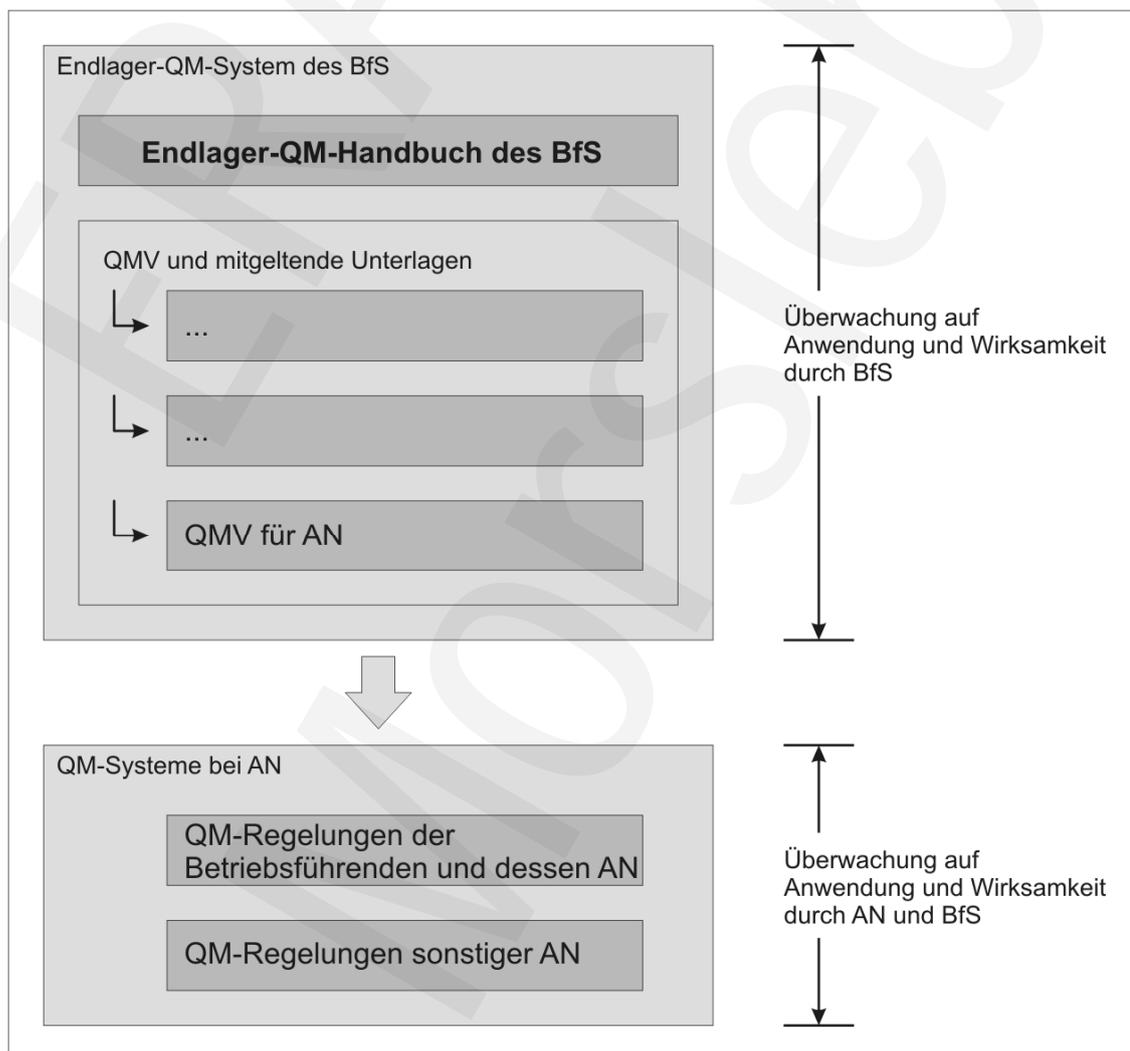


Abb. 2.7-1: Qualitätsmanagementsystem.

Mit der Einhaltung der Qualitätsforderungen ist gewährleistet, dass die Qualität der Planungen und Ausführungen von Anlagen, Anlagenteilen, Systemen und Komponenten und/oder Betriebsweisen den Vorgaben entspricht.

Zur Gewährleistung der ständigen Aktualität, Wirksamkeit und Angemessenheit des Endlager-Qualitätsmanagementhandbuches (E-QMH) und der QM-Verfahrensanweisungen (QMV) werden E-QMH und QMV im Anforderungsfall an sich ändernde Erkenntnisse und Notwendigkeiten angepasst.

Der notwendige Regelungsinhalt des E-QMH wird in einem Qualitätssicherungsprogramm festgelegt, die notwendigen Regelungsinhalte der QMV werden in QM-Rahmenbeschreibungen (QMR) festgelegt.

Die Arbeiten, die im Zusammenhang mit der Planung und der Abwicklung der Stilllegung anfallen, sind entsprechend ihrer sicherheitstechnischen Bedeutung drei QS-Bereichen mit unterschiedlichen QS-Maßnahmen zugeordnet.

QS-Bereich 1

Arbeiten zum QS-Bereich 1 sind wissenschaftliche Untersuchungen sowie Analysen und Versuche im Rahmen der Standorterkundung und zur Sicherheitsbewertung.

Dabei kommen folgende QS-Maßnahmen zur Anwendung:

- Hohe fachlich-wissenschaftliche Qualifikation der Mitarbeiter/-innen.
- Anwendung qualifizierter Analyse- und Berechnungsverfahren.
- Langjährige Erfahrung auf den jeweiligen Arbeitsgebieten.
- Bewährte Verfahren der Leistungserzeugung und -prüfung.

Zur Gewährleistung der umfassenden und lückenlosen Nachweisbarkeit und Überprüfbarkeit aller wesentlichen Grundlagen und Ergebnisse der endlagerrelevanten Arbeiten achtet das BfS weiterhin auf die anforderungsgerechte Dokumentation aller Arbeiten.

QS-Bereich 2

Zum QS-Bereich 2 gehören die Arbeiten zur Planung, Beschaffung, Herstellung, Inbetriebnahme und Betrieb einschließlich Stilllegung von Anlagenteilen, Systemen und Komponenten, für die qualitätssichernde Forderungen nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik bestehen.

Für die Stilllegung des ERAM gibt das BfS die Forderungen aus dem Endlager-QM-System in Form einer QMV seinen Auftragnehmern vor.

QS-Bereich 3

In den QS-Bereich 3 fallen Arbeiten zur Planung, Beschaffung, Herstellung, Inbetriebnahme und Betrieb einschließlich Stilllegung von Anlagenteilen, Systemen und Komponenten, für die ergänzende qualitätssichernde Forderungen aus kerntechnischer Sicht festzulegen sind.

Es gelten die Regelungen für den QS-Bereich 2. Darüber hinaus wird das BfS u. a. folgende Aspekte besonders berücksichtigen:

- Vorgaben zu den Qualifikationsforderungen an das einzusetzende Personal der Auftragnehmer,
- intensive Betreuung und fachliche Prüfung durch das BfS, um die Einhaltung aller Forderungen der jeweiligen Gesetze und Regelwerke sowie aus den Ergebnissen der Störfallanalysen sicherzustellen,
- ggf. produktbezogene Prüfung der festgelegten Forderungen auf Einhaltung in den nachfolgenden Produktphasen,
- BfS-interne Überwachung der Durchführung der vom BfS wahrzunehmenden Prüfungen und Kontrollen.

2.7.2 Qualitätssicherung (QS)

Die qualitätssichernden Maßnahmen werden in den Planungs- und Ausführungsunterlagen (z. B. in Form von QM-Plänen und Prüffolgeplänen) dargelegt und ihre Einhaltung u. a. gemäß den Forderungen des QM-Systems gewährleistet.

Als entscheidend für das Gesamtkonzept zur langzeitsicheren Stilllegung des ERAM sind folgende Aufgaben zu nennen:

- Verschluss und Verfüllung untertägiger Grubenbaue,
- Errichtung von Abdichtungen in Strecken und Rolllöchern und
- Verfüllen/Abdichten der Schächte.

Im Rahmen umfangreicher Untersuchungen und Nachweisführungen wurden notwendige Qualitätskriterien, einzuhaltende Parameter einschließlich zulässiger Schwankungsbreiten sowie Überwachungs- und Beweissicherungsmaßnahmen festgelegt.

Diese Parameter unterliegen der Eigen- und Fremdüberwachung. Die für die sicherheitlichen Nachweise relevanten Parameter werden entsprechend den in den Planungsunterlagen festgelegten Intervallen anhand von Proben aus den angelieferten Ausgangsstoffen und/oder dem bereits angemischtem Versatzbaustoff geprüft.

Die Beschaffung, Herstellung und Verwendung aller Materialien sowie die Durchführung der Stilllegungsmaßnahmen (z. B. Verfüllung von Strecken, Rolllöchern und anderen Grubenbauen; Herstellung von Verschlüssen für die Grubenhohlräume; Errichtung von Abdichtungsbauwerken in Strecken und Rolllöchern sowie in den Schachtröhren Bartensleben und Marie) unterliegen qualitätssichernden Maßnahmen.

Die Eignung der im Rahmen der Stilllegungsmaßnahmen verwendeten Materialien (Ausgangsstoffe, Mischungen usw.) ist vor der Durchführung der jeweiligen Maßnahmen durch das bauausführende Unternehmen durch eine Eignungsprüfung nachzuweisen.

Bei der Verfüllung der untertägigen Grubenbaue wird vorwiegend Salzbeton M3 (Kapitel 3.1.5) als Massenbaustoff eingesetzt. Beispielhaft wird deshalb nachfolgend die QS für den Salzbeton M3 dargestellt:

Für den Baustoff Salzbeton M3 wird eine Eignungsprüfung durchgeführt, die den Nachweis erbringt, dass die Auslegungsanforderungen (Kapitel 2.4) für das Material Salzbeton M3 erfüllt werden.

Da aufgrund der Unzugänglichkeit der versetzten Grubenbaue die Überprüfung des abgebundenen Versatzes mit großen Schwierigkeiten verbunden bzw. unmöglich ist, sind die Überwachungsmaßnahmen für die Herstellung des Salzbetons M3 derart ausgestaltet, dass die Qualitätsparameter des Salzbetons M3 nach dem Versetzen in die Grubenhohlräume sicher eingehalten werden. Besondere Bedeutung kommen deshalb bei Herstellung des Salzbetons M3 der Überwachung der Qualität der Ausgangsstoffe, dem Dosier- und Mischvorgang und Prozessparametern zu. Für den Herstellungsprozess und die relevanten Materialparameter sind Soll- und Grenzwerte festgelegt, die die Qualität des Salzbetons M3 ausreichend beschreiben und deren Einhaltung die notwendige Qualität des Salzbetons M3 sichert.

3 STILLEGUNGSBETRIEB

Die Stilllegung des ERAM beginnt nach Planfeststellungsbeschluss mit der Umrüstung des ERAM vom Offenhaltungs- auf den Stilllegungsbetrieb. Der Stilllegungsbetrieb zum Verfüllen und Verschließen des ERAM nach Stilllegungskonzept wird etwa 15 Jahre dauern. Bis zum Ende der Stilllegung beschränkt sich der kerntechnische Betrieb des ERAM auf die Strahlungsüberwachung und in den ersten Jahren zusätzlich auf die Entsorgung von während der Stilllegung noch anfallenden betrieblichen radioaktiven Abfällen (siehe Kapitel 3.4.1).

3.1 STILLEGUNGSMAßNAHMEN

Nachfolgend werden die einzelnen Stilllegungsmaßnahmen beschrieben. Dabei wird auf die Materialeigenschaften, die Bauausführung und die Funktion einzelner Komponenten eingegangen. Form, Größe und Bauausführung der Stilllegungsmaßnahmen werden den Standortgegebenheiten angepasst.

3.1.1 Rückbaumaßnahmen in der untertägigen Anlage

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

Werden Anlagenteile endgültig aus dem Kontrollbereich herausgenommen, wird zuvor ein Freigabeverfahren nach § 29 StrlSchV durchgeführt. Die Anlagenteile können danach entsprechend den Anforderungen des Freigabebescheides außerhalb des Kontrollbereichs als nicht radioaktive Anlagenteile weitergenutzt oder entsorgt werden.

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.

3.1.2 Kontrollbereich

Der Kontrollbereich im ERAM liegt im Grubengebäude Bartensleben und umfasst folgende Bereiche: -372 m-Sohle und -346 m-Sohle sowie -420 m-Sohle bis

-500 m-Sohle mit Ausnahme des schachtnahen Bereiches Füllort -372 m-Sohle. Der Hauptzugang zum Kontrollbereich befindet sich im schachtnahen Bereich des Füllortes auf der -372 m-Sohle. Ferner gibt es einen zweiten Kontrollbereichsübergang auf der -372 m-Sohle am unteren Fußpunkt des Flachen 2. Für Personen- und Materialschleusung sind entsprechende Kontrolleinrichtungen vorhanden (Kapitel 3.5).

Der Kontrollbereich wird im Rahmen der Stilllegung sukzessive verfüllt und verschlossen.

In den folgenden Abb. 3.1-1: Gesamtansicht der Grube Bartensleben mit Darstellung des Kontrollbereichs. und Abb. 3.1-2: Gesamtansicht des Kontrollbereichs vor der Stilllegungsmaßnahme. ist der Kontrollbereich vor der Stilllegungsmaßnahme dargestellt.

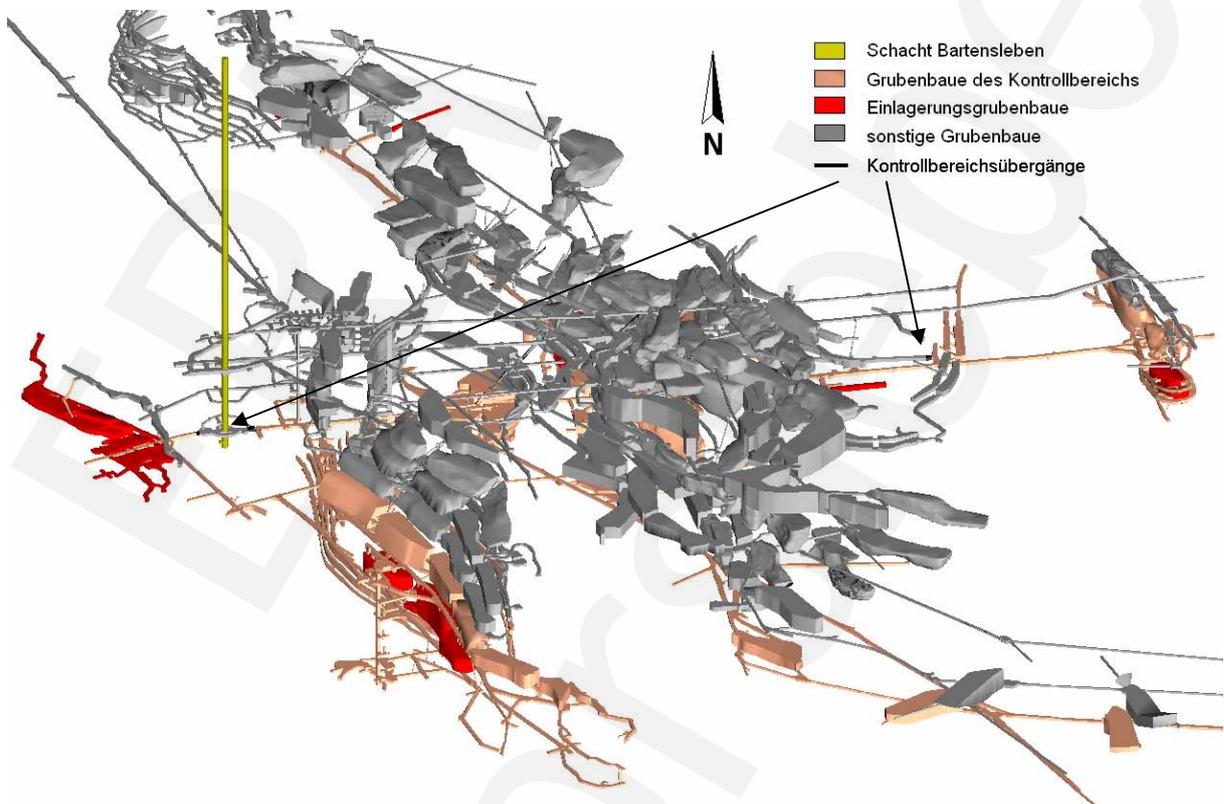


Abb. 3.1-1: Gesamtansicht der Grube Bartensleben mit Darstellung des Kontrollbereichs.

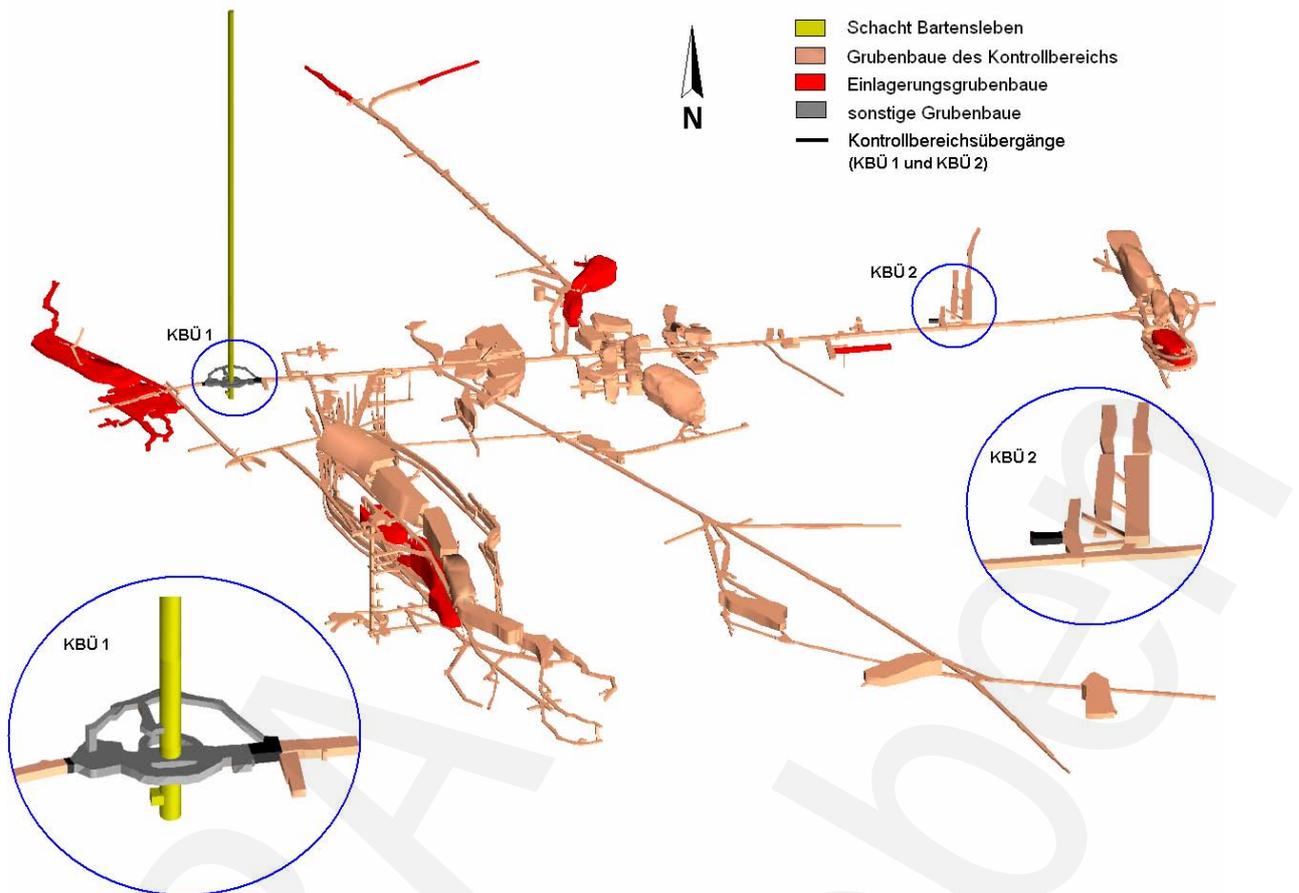


Abb. 3.1-2: Gesamtansicht des Kontrollbereichs vor der Stilllegungsmaßnahme.

3.1.3 Herstellen der Abdichtungen (Verfüllkategorie I)

Eine wesentliche Stilllegungsmaßnahme ist das Herstellen von Abdichtungen. Sie werden entsprechend dem Stilllegungskonzept (Kapitel 2.3) mit dem Ziel der großräumigen Abdichtung der Einlagerungsbereiche West-Südfeld und Ostfeld in ausgewählten horizontalen Grubenbauen (Strecken) und vertikalen Grubenbauen (Rolllöcher) hergestellt.

Horizontale Streckenabdichtungen

Eine Abdichtung besteht aus einem oder mehreren Abdichtungssegmenten. Die Abdichtungssegmente bestehen aus dem Abdichtungskörper mit dem umliegenden Gebirgsbereich einschließlich des dazwischen liegenden Übergangsbereichs (Kontaktzone).

Die Lage der einzelnen Abdichtungssegmente lässt sich aus den Abb. 2.6-1 und Abb. 2.6-2 entnehmen. Die Gesamtlänge einer Abdichtung resultiert aus den Ge-

gebenheiten vor Ort, speziell dem Platzangebot (siehe Tab. 2.6-2). Die Abdichtungslänge wird beschränkt, wenn die daraus resultierenden Konsequenzen für die Langzeitsicherheit als vernachlässigbar eingestuft werden können. Dies ist zum Beispiel zwischen dem Einlagerungsbereich West-Südfeld und dem Zentralteil der Fall. Dort verlaufen relativ lange Abdichtungen mit relativ kurzen Abdichtungen parallel. Aus diesem Grund bestimmen die kurzen Abdichtungen die hydraulische Wirksamkeit. In diesem Bereich wird daher die Abdichtungslänge auf maximal drei Segmente beschränkt.

Sowohl zwischen dem Einlagerungsbereich Ostfeld und dem Zentralteil als auch zwischen dem Einlagerungsbereich West-Südfeld und dem Grubengebäude Marie lassen sich auch größere Abdichtungslängen auf allen betreffenden Sohlen realisieren.

Die jeweiligen Segmentlängen werden entsprechend den Randbedingungen vor Ort festgelegt. Um den fließfähigen Baustoff formschlüssig einbringen zu können, ist ein leichtes Anschragen der Firste erforderlich. Je länger ein Segment ist, umso größer wird dementsprechend die resultierende Querschnittshöhe. Des Weiteren kann bei Segmentlängen in der festgelegten Größenordnung ein „frisch in frisch“-Einbau des Salzbetons gewährleistet werden, wodurch die Entstehung von hydraulisch wirksamen Arbeitsfugen ausgeschlossen ist. Aus baupraktischer und nachweistechnischer Sicht hat sich eine Länge von ca. 25 m als geeignet herausgestellt.

Streckenabdichtungen im Steinsalz

In den Streckenabschnitten, in denen die Abdichtungsbauwerke errichtet werden, wird die Auflockerungszone gemäß ihrer Ausbildung entlang der gesamten Ausbruchskontur gebirgsschonend z. B. mit einer Teilschnittmaschine herausgenommen, um eine Schädigung des Gebirges zu vermeiden.

Zusätzlich wird die Firste entsprechend dem Fließwinkel des einzubauenden Salzbetons (ca. 2°) angeschragt, um einen formschlüssigen Einbau zu erreichen.

Die Segmente des Abdichtungsbauwerks bestehen aus Salzbeton. Als Salzbeton wird hier ein Baustoff bezeichnet, der aus Zement, einem Betonzusatzstoff (Steinkohlenflugasche), einem Zuschlag (Salzgrus) und Wasser besteht. Die sicherheitsrelevanten Parameter der für den Bau von Abdichtungen im Rahmen von Planungsarbeiten und Eignungsuntersuchungen betrachteten Salzbetonrezeptur M2 wurden quantitativ ermittelt. Die Rezeptur enthält folgende Ausgangsstoffe:

- Zement der Bezeichnung CEM III/B 32,5 - N-LH/HS/NA
- Steinkohlenflugasche nach DIN EN 450
- Steinsalzzuschlag (Salzgrus)

- Wasser.

Folgende Abbildung 3.1-3 stellt die Zusammensetzung des Salzbetons M2 grafisch dar.

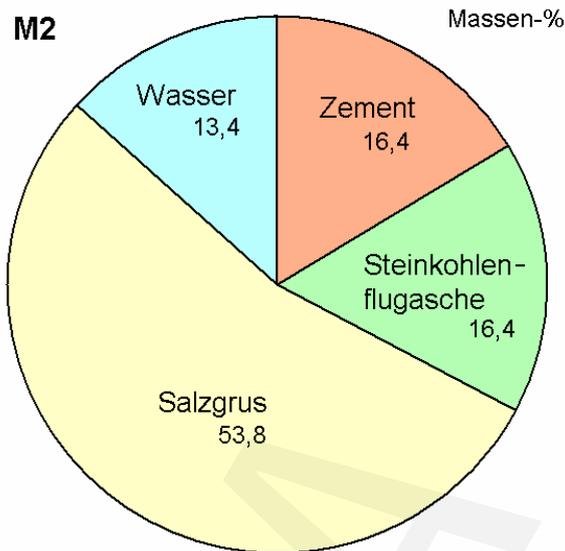


Abb. 3.1-3: Ausgangsstoffe und Zusammensetzung des Salzbetons M2.

Die Dosierung des Wassers erfolgt innerhalb einer zuvor festgelegten Bandbreite entsprechend dem Wasseranspruch der Ausgangsstoffe, so dass der Salzbeton die gewünschten Verarbeitungsmerkmale und Eigenschaften erreicht. Die Ausgangskomponenten und Baustoffherstellung werden gemäß QS-Plan überwacht, wodurch sichergestellt wird, dass der für den Bau der Abdichtungen verwendete Salzbeton die notwendige Baustoffqualität aufweist. Der Salzbeton kann sowohl über Tage als auch unter Tage hergestellt werden. Bei der übertägigen Herstellung des Salzbetons wird dieser mit Hilfe einer hydraulischen Förderanlage bis zum Abdichtungsstandort gepumpt. Bei der untertägigen Herstellung wird er an einem geeigneten Standort hergestellt und zur Baustelle gefördert.

Das Betonieren der Segmente erfolgt kontinuierlich nach dem Verfahren „frisch in frisch“. Das firstbündige Verfüllen wird durch Austritt des Verfüllbaustoffs aus der Entlüftungsrohrleitung signalisiert. Zwischen den Segmenten werden plastische Bewegungsfugen der Breite 0,5 m bis 1,0 m errichtet, die aus Salzgrus oder Salzbricketts (kompaktierter Salzgrus) hergestellt werden. Injektionsmaßnahmen der Kontaktzone Streckensaum/Betonkörper werden an jeder Abdichtungslokation vorgesehen. Die Injektion erfolgt mit einer Zementsuspension, um eine sofortige Dichtheit der Kontaktzone zu gewährleisten. Durch das aufkriechende Salzgebirge ist die Dichtheit der Kontaktzone auch bei mit Lösung vollgelaufenen Grubengebäuden gewährleistet.

Die injizierten Abdichtungssegmente gewährleisten eine Anfangspermeabilität von 10^{-18} m^2 oder kleiner und behindern den Zutritt von Lösungen in die Einlagerungsbereiche und das Entweichen von kontaminierten Lösungen und Gasen aus den Einlagerungsbereichen. Sie können Belastungen aus Gebirgsdruck, Beanspruchungen durch Fluiddrücke, chemischen Angriff durch Lösungen und Hydratationswärme ausreichend lange (siehe Kapitel 5.4) versagensfrei ertragen.

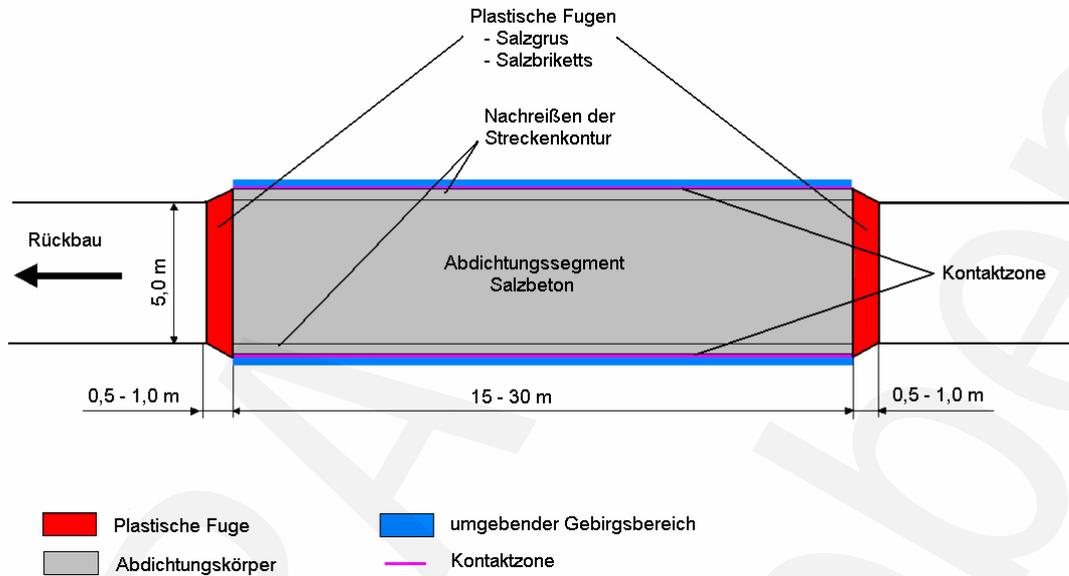


Abb. 3.1-4: Schematische Darstellung eines Abdichtungssegmentes.

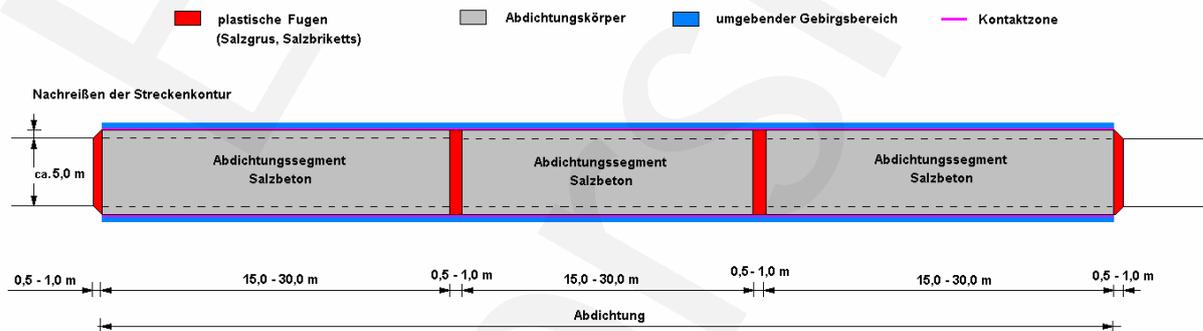


Abb. 3.1-5: Schematische Darstellung einer Abdichtung, bestehend aus drei Segmenten.

Weitere Auslegungsanforderungen werden unter Kapitel 5.4.1 beschrieben.

Streckenabdichtung im Hauptanhydrit

Die Abdichtung im Ostquerschlag auf der 4. Sohle zwischen Kalilager E und dem Ostfeld (siehe Tab. 2.6-2 und Abb. 2.6-4) ist im Hauptanhydrit herzustellen. Im

Gegensatz zum Steinsalz ist der Hauptanhydrit nicht kriechfähig, was zur Folge hat, dass das Bauwerk die Permeabilitätsanforderung instantan bzw. direkt nach Errichtung erfüllen muss. Dies wird durch den Einsatz eines quellfähigen Baustoffs (Magnesiabeton) als Abdichtungsmaterial erfüllt. Der entstehende Quelldruck sorgt zwischen Bauwerk und Gebirge für eine dauerhafte Abdichtwirkung gegenüber dem möglichen Lösungsdruck.

Das Abdichtungsbauwerk besteht aus vier hintereinander angeordneten Dichtelementen, die sich zwischen Widerlagern befinden (Abb. 3.1-7). Die Widerlager, mit einer Länge von ca. 5 m, gewährleisten den Aufbau des Quelldrucks im Bereich der Dichtelemente. Sowohl die Widerlager als auch die Dichtelemente werden aus dem gleichen Magnesiabeton hergestellt. Der Magnesiabeton enthält folgende Ausgangsstoffe:

- Magnesiumoxid (Bindemittel)
- Quarzsand, Anhydritmehl (Zuschlagsstoffe)
- Mikrosilika (Zusatzstoff)
- Fließmittel
- Anmischflüssigkeit (Magnesiumchlorid-Lösung).

Folgende Abbildung stellt die Zusammensetzung des Magnesiabetons grafisch dar.

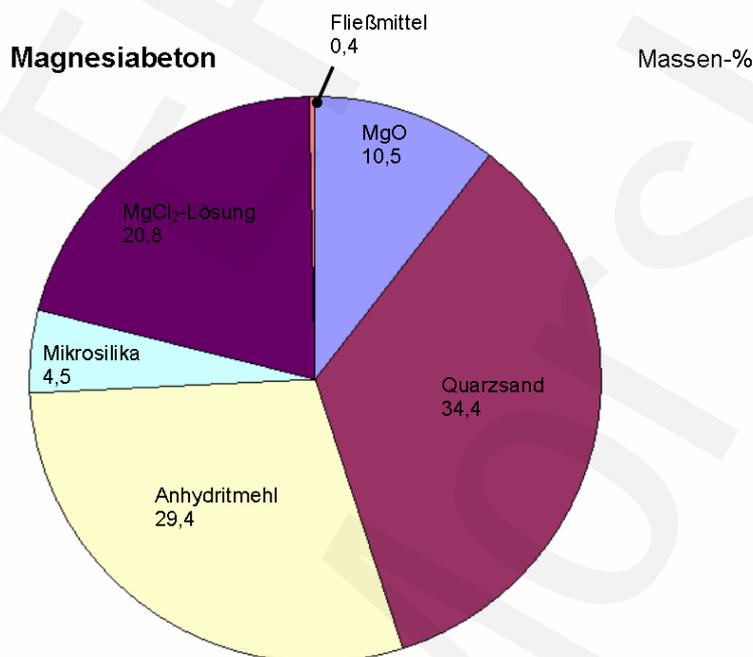


Abb. 3.1-6: Ausgangsstoffe und Zusammensetzung des Magnesiabetons.

Der Magnesiabeton (MgO-Beton) wird in einer untertägigen Dosier- und Mischanlage hergestellt. Die Betonherstellung sowie die verwendeten Ausgangskomponenten werden entsprechend QS-Plan überwacht. Hierdurch wird die für den Bau der Abdichtung geforderte Baustoffqualität gewährleistet. Die einzelnen Segmente

werden jeweils „frisch in frisch“ betoniert. Die Abdichtwirkung wird durch die geringe Permeabilität des Magnesiabetons und die permanente Überdrückung der Kontaktfuge mit dem Quelldruck des Magnesiabetons erreicht. Zur Verzögerung eines möglichen korrosiven Lösungsangriffs durch NaCl-Lösung werden vor dem Magnesiabeton-Bauwerk Vordichtungen aus zementbasiertem Beton errichtet.

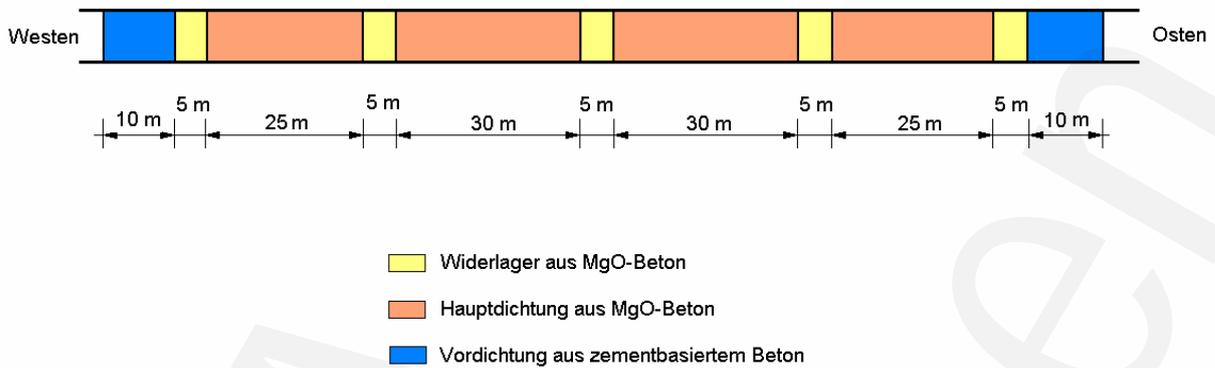


Abb. 3.1-7: Schematische Darstellung des Abdichtungsbauwerks aus Magnesiabeton im Ostquerschlag auf der 4. Sohle.

Vertikale Abdichtung im südlichen Wetterrollloch

Anders als die Streckenabdichtungen stellt das südliche Wetterrollloch eine vertikale Sohlenverbindung von der 1. bis zur 4. Sohle im Grubengebäude dar. Es befindet sich zwischen dem Einlagerungsbereich West-Südfeld und dem Zentralteil im Bereich der südlichen Wetterstrecken. Dort schließt das Wetterrollloch auf jeder Sohle an eines der dortigen horizontalen Abdichtungsbauwerke an.

Das Abdichtungsbauwerk im Wetterrollloch besteht aus drei nahezu baugleichen Teilabschnitten zwischen den einzelnen Sohlen, die etwa die gleichen Längen von je ca. 40 m besitzen. Die Durchmesser betragen nach dem Entfernen der Auflockerungszone ca. 2,7 m bis ca. 4,0 m (Abb. 3.1-8).

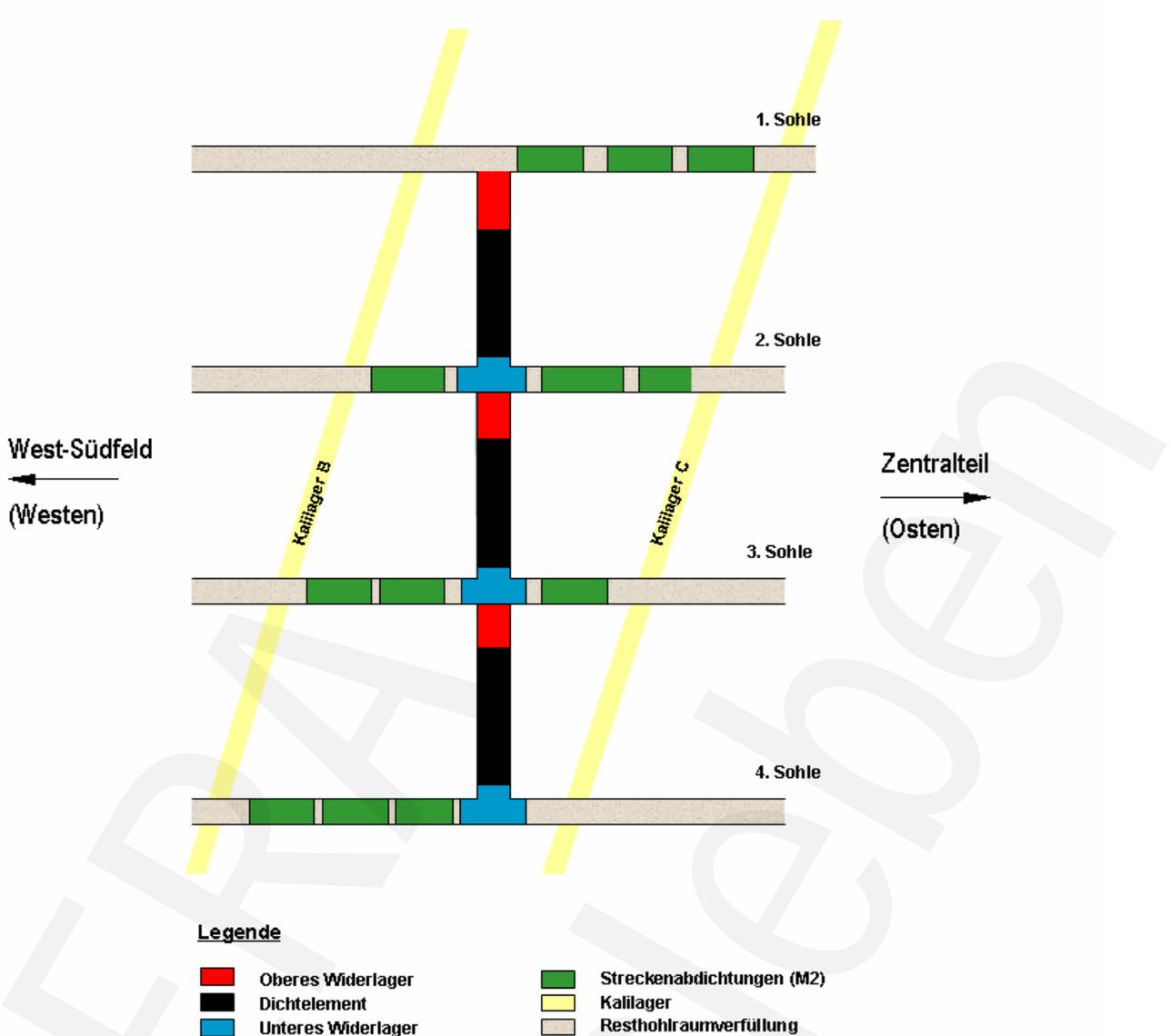


Abb. 3.1-8: Prinzipskizze zum Aufbau des Verschlusssystems im südlichen Wetterrollloch.

Das vertikale Verschlusssystem im südlichen Wetterrollloch besteht aus mehreren Dichtelementen, wie sie auch beim Verschluss der Schächte Anwendung finden. Die Abdichtungen sind jeweils aus einem unteren Widerlager aus setzungsarmem Hartgesteinsschotter, einem Dichtelement aus einem Gemisch aus Schotter und Bitumen und einem oberen Widerlager aus Schotter mit einer Sole-Zement-(Flugasche-)Suspension aufgebaut. Vor dem Einbau der Abdichtungen wird die Auflockerungszone gebirgsschonend entfernt. Zwischen dem unteren Widerlager und dem Dichtelement wird eine Filterschicht eingebaut, die die Migration des Bitumens in das untere Widerlager verhindert.

Die Abdichtungen im Wetterrollloch weisen eine deutlich geringere Permeabilität auf als die horizontalen Streckenabdichtungen, da das geplante Dichtelement aus Schotter und Bitumen bei vertikaalem Einbau gegenüber Lösungen wesentlich dichter ist.

3.1.4 Abdichten von untertägigen Bohrungen

Teilweise befinden sich in den Bereichen der Abdichtungsbauwerke Bohrungen, die aus dem früheren Bergwerksbetrieb resultieren. Wenn durch diese die Möglichkeit eines sicherheitsrelevanten Lösungs- und Schadstofftransports besteht, sind diese abzudichten. Für die Auswahl der zu verfüllenden Bohrungen wurden die nachfolgend aufgezählten und in Abb. 3.1-9 schematisch dargestellten Kriterien aufgestellt:

1. Bohrungen, die einen Einlagerungsbereich und die Restgrube durchgängig verbinden.
2. Bohrungen aus einem Einlagerungsbereich oder der Restgrube, die bis dicht an eine Abdichtung heranreichen.
3. Bohrungen, die eine Verbindung zwischen zwei Abdichtungen herstellen.
4. Bohrungen aus einem Einlagerungsbereich oder der Restgrube, die durchgängig bis an eine Abdichtung heranreichen.
5. Bohrungen, die auf sonstige Weise die Abdichtungslängen verkürzen können.

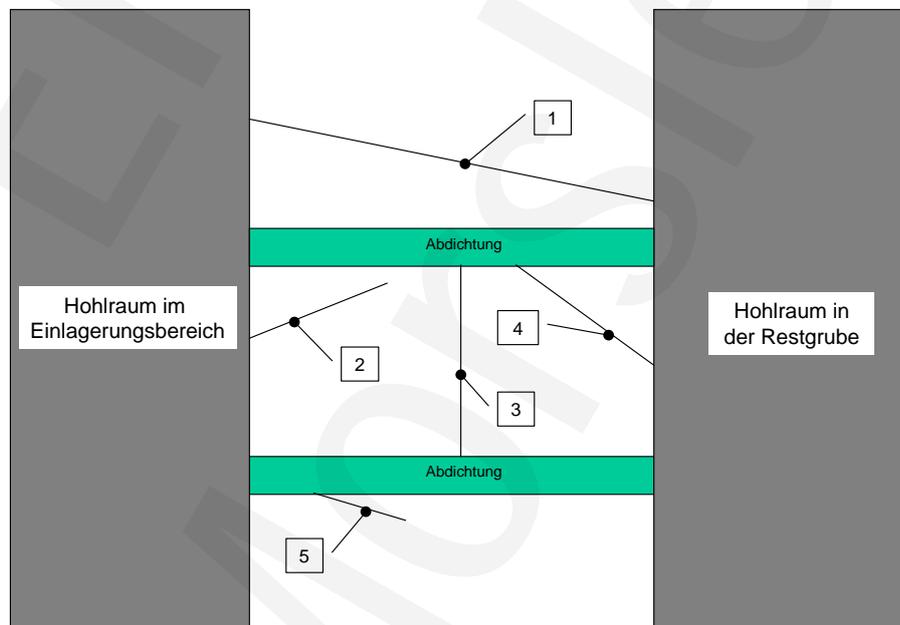


Abb. 3.1-9: Arten von zu verfüllenden Bohrungen im Bereich von Abdichtungen.

Die Prüfung der markscheiderischen Unterlagen und Erkundungen vor Ort haben ergeben, dass gemäß diesen Kriterien 16 Bohrungen qualifiziert zu verfüllen sind.

Dies geschieht mit einem quellfähigen Magnesiabinder, der aus den folgenden Komponenten besteht:

- Magnesiumoxid (Bindemittel)
- feinkörniges Steinsalz (Siedesalz < 0,4 mm)
- Anhydritmehl, Schiefermehl
- Anmischflüssigkeit (Magnesiumchlorid-Lösung).

Folgende Abbildung stellt die Zusammensetzung des Magnesiabinders grafisch dar.

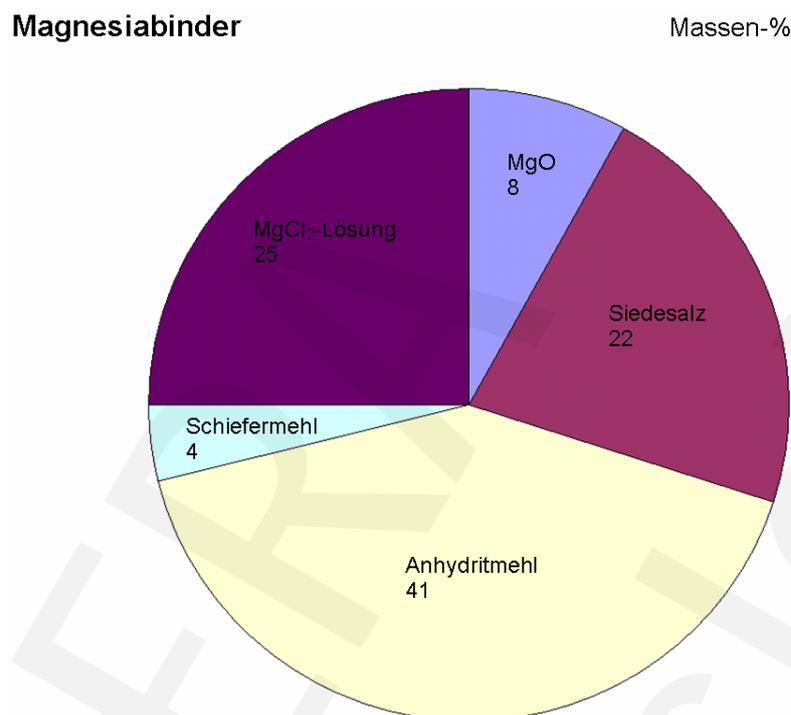


Abb. 3.1-10: Ausgangsstoffe und Zusammensetzung des Magnesiabinders.

Der Magnesiabinder wird als qualitätsgesicherter, vorkonfektionierter Trockenbaustoff in einer mobilen Misch- und Pumpanlage vor Ort angemischt und unter Druck in die zu verschließenden Bohrungen gepresst. Bei ansteigenden Bohrungen wird die bei der Verfüllung der Bohrungen verdrängte Luft über eine verschließbare Entlüftungsleitung abgeführt. Infolge der Abbindereaktion erfährt der Magnesiabinder eine Volumenzunahme bzw. entwickelt im Bohrloch einen Quelldruck. Hierdurch wird der Formschluss zwischen dem Binder und der Bohrlochwandung gewährleistet und die Bohrung abgedichtet. Sowohl der für die Verfüllung der Bohrungen vorgesehene Magnesiabinder als auch die Misch- und Pumpanlage werden bereits bei der Verfüllung von geotechnischen Bohrungen verwendet und entsprechen dem Stand der Technik.

Wenn abzudichtende Bohrungen verstopft sind, werden sie aufgebohrt und anschließend qualifiziert verfüllt.

In den zu verfüllenden Bohrungen existieren keine Lösungs- oder Gasaustritte mehr.

Als Folge des Altbergbaus kann nicht gänzlich ausgeschlossen werden, dass es Bohrungen gibt, die nicht im Risswerk dokumentiert wurden. Diese Umstände werden im Langzeitsicherheitsnachweis durch die durchgeführten probabilistischen Berechnungen berücksichtigt, in denen der Ausfall einzelner Abdichtungen enthalten ist, der auch das potenzielle Vorhandensein unbekannter Bohrungen mit einschließt. Die Abdichtungsstandorte wurden jedoch so gewählt, dass die Wahrscheinlichkeit für derartige unentdeckte Bohrungen sehr gering ist. Bei der Herstellung der Abdichtungen wird noch einmal gezielt nach solchen Bohrungen gesucht. In der Abb. 3.1-11 ist die Lage der zu verfüllenden Bohrungen im Grubengebäude in der Übersicht dargestellt.

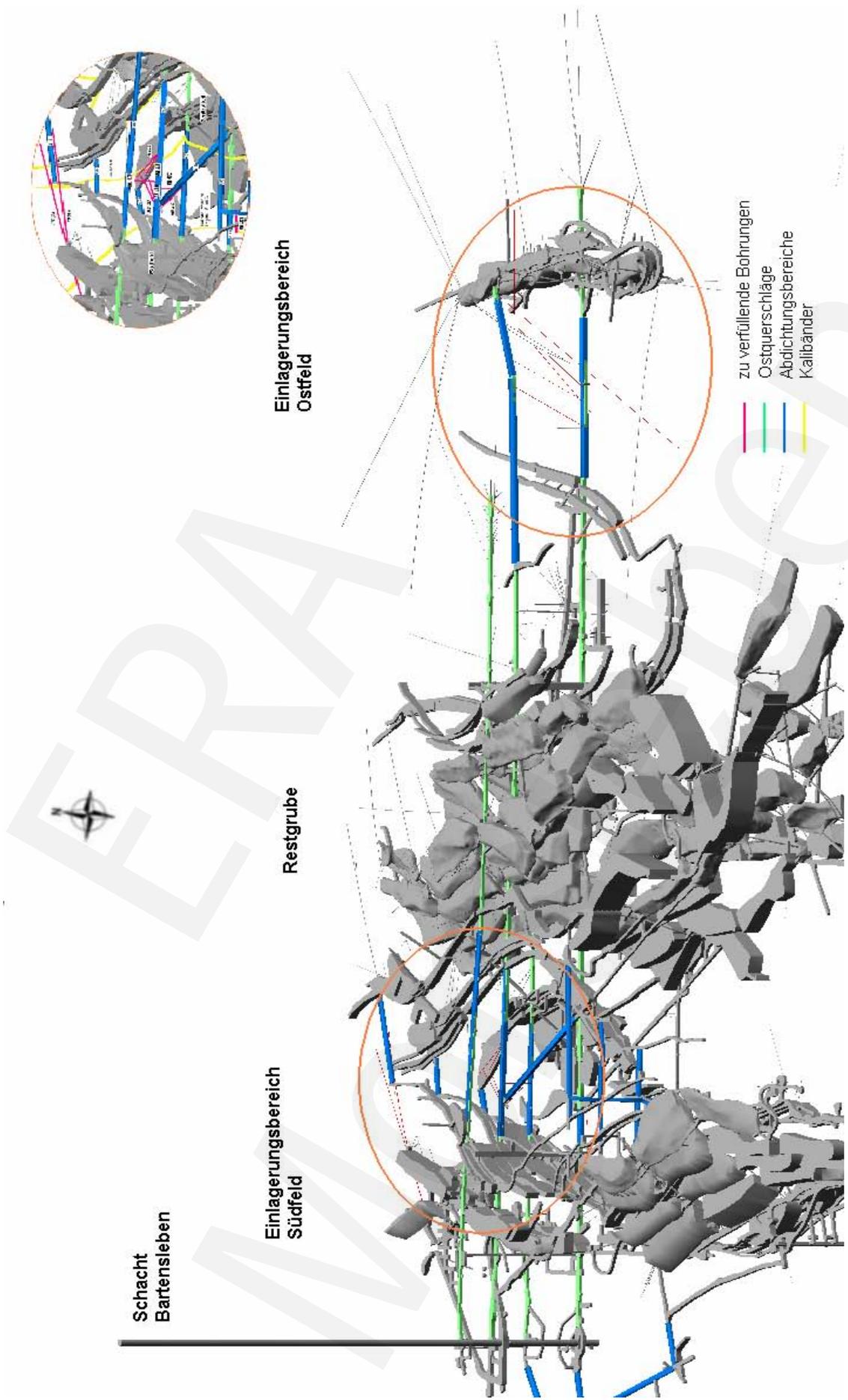


Abb. 3.1-11: Zu verfüllende Bohrungen im Grubengebäude.

3.1.5 Versatzmaßnahmen

Salzbeton und Versatzverfahren

Als Massenbaustoff für die Versatzmaßnahmen ist ein Salzbeton vorgesehen. Als Salzbeton wird hier ein Baustoff bezeichnet, der aus Bindemittel (Zement), Betonzusatzstoffen (z. B. Gesteismehl, Steinkohlenflugasche), Zuschlägen (z. B. Salzgrus, Quarzsand) und einer Anmischflüssigkeit (z. B. Wasser, Salzlösungen) besteht. Die an den Salzbeton gestellten Anforderungen (Festigkeiten, Förderbarkeit) leiten sich aus dem zu erreichenden stabilen Endzustand der verfüllten Grubengebäude und der geplanten hydraulischen Einbringung des Betons ab.

Die Ausgangskomponenten für den Salzbeton sowie die jeweilige Salzbetonherstellung werden gemäß QS-Plan überwacht, wodurch sichergestellt wird, dass der für die Versatzmaßnahmen angelieferte Salzbeton die notwendige Qualität aufweist. Im Rahmen der bergbaulichen Gefahrenabwehrmaßnahme im Zentralteil konnten bereits zahlreiche Erfahrungen mit dem Baustoff Salzbeton gesammelt werden, die bestätigen, dass die geforderten Baustoffeigenschaften sicher eingehalten werden.

Bei den Planungsarbeiten zur Stilllegung des ERAM und der Ableitung von sicherheitsrelevanten Anforderungen wurde der Salzbeton M3 zugrunde gelegt. Er enthält folgende Ausgangsstoffe (Abb. 3.1-12):

- Zement der Bezeichnung CEM III/B 32,5 - N-LH/HS/NA
- Steinkohlenflugasche nach DIN EN 450
- Steinsalzzuschlag (Salzgrus)
- Wasser

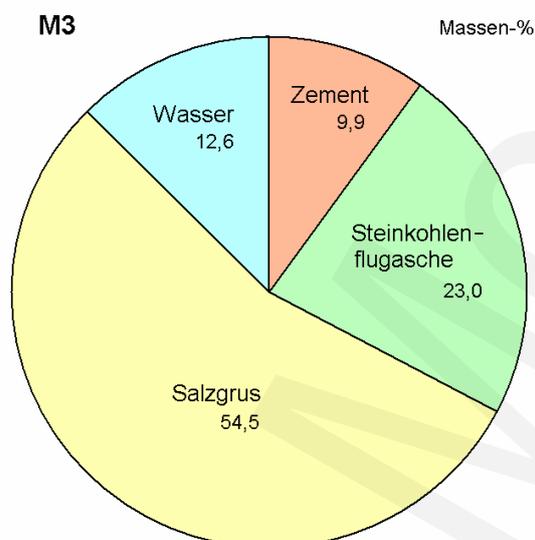
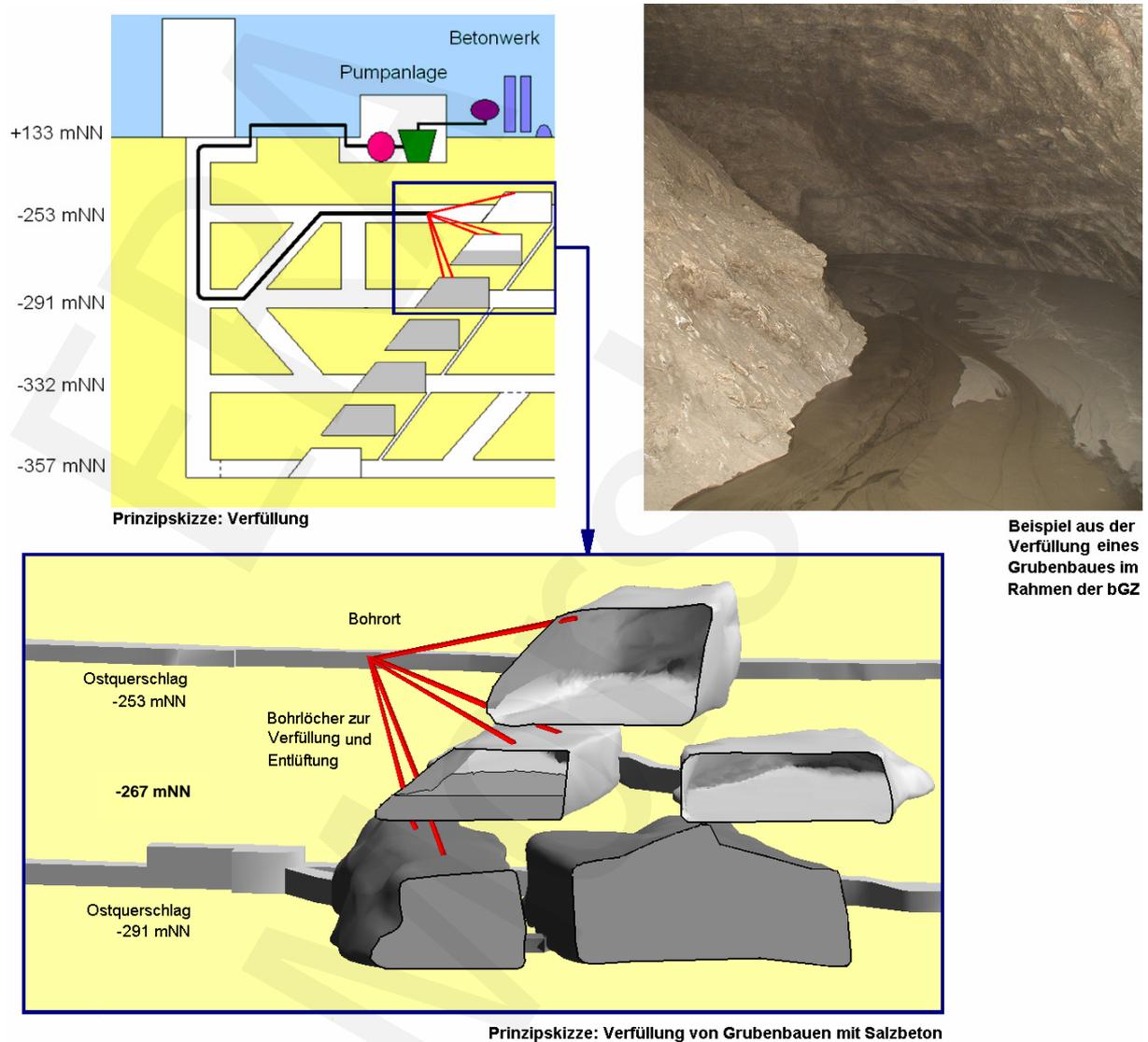


Abb. 3.1-12: Ausgangsstoffe und Zusammensetzung des Salzbetons M3.

Der Salzbeton wird mit Hilfe einer Förderanlage und den in den Grubengebäuden verlegten Rohrleitungen direkt oder über Verfüllbohrungen in die Hohlräume unter Tage gepumpt (Abb. 3.1-13). Insgesamt kommen dabei drei Rohrleitungssysteme zum Einsatz.

Die für die Verfüllung nicht genutzten Zugänge werden verschlossen, um ein Auslaufen des Salzbetons zu verhindern. Bei den Verfüllarbeiten im Rahmen der bGZ hat sich gezeigt, dass der Salzbeton so fließfähig ist, dass sich nahezu horizontale Lagen ausbilden, bevor er abbindet. Die Anzahl der Verfüllbohrungen zu den Hohlräumen variiert je nach der Firstkontur und dem zur Stabilisierung des Grubengebäudes zu erreichenden Firstanschlusses.



Beispiel aus der Verfüllung eines Grubenbaues im Rahmen der bGZ

Abb. 3.1-13: Verfüllen von Grubenbauen mit Salzbeton.

Bei Unterbrechung des Verfüllbetriebs oder zur Reinigung der Förderanlage werden die Rohrleitungen gespült. Die Spüllösung wird in Sammelbehältern gefasst und dem Betonherstellungsprozess wieder zugeführt.

Überschusslösung

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. 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 die Zugangsstrecken der Einlagerungsgrubenbaue vor deren Verfüllung durch temporäre Abdichtungen auf der 4. Sohle verschlossen (Abb. 3.1-15). Die temporären Abdichtungen sind für die Dauer der Stilllegung bis zur Verfüllung des Schachtes Bartensleben ausgelegt.

Im Einlagerungsbereich West-Südfeld verbleibende Mengen an Überschusslösung können in die nicht verfüllten Unterwerksbaue abfließen. Die Versatzmengen Salzbeton im Ostfeld liefern im Vergleich dazu geringere Mengen Überschusslösung, deren Einfluss auf die Gasbildung im Langzeitsicherheitsnachweis gleichwohl berücksichtigt wird.

Bei allen anderen Grubenbereichen wird bei der Modellierung in den Langzeitsicherheitsanalysen unterstellt, dass diese in der Nachbetriebsphase mit Lösung aus dem Gebirge gefüllt werden. Die Lösungsmengen, die aus der Überschusslösung resultieren, sind deshalb gegenüber denen vernachlässigbar, die dort als potenzieller Zutritt aus dem Gebirge unterstellt werden.

Die Überschusslösung besitzt für die Langzeitsicherheit keine Bedeutung.

Anforderungen an die Verfüllmaßnahmen

Unter Berücksichtigung der prognostizierten geologischen Langzeitentwicklung, der zu gewährleistenden Standsicherheit der Grubengebäude und der damit verbundenen erforderlichen Minimierung des Umlösevolumens sowie der Langzeitsicherheitsanalysen wurden Anforderungen an das Verfüllmaterial sowie die Verfüllmaß-

nahmen abgeleitet. Bis auf die Schächte Bartensleben und Marie (Kapitel 3.1.6) werden alle Grubenbaue entsprechend diesen Anforderungen verschiedenen Verfüllkategorien zugeordnet.

Verfüllkategorien

Zur Verfüllkategorie I gehören die Grubenbaue, in denen entsprechend dem Stilllegungskonzept Abdichtungen zu errichten sind. Im Grubengebäude Bartensleben werden in definierten Bereichen von Strecken und Rolllöchern sowie 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 %.

Der Verfüllkategorie II sind diejenigen Grubenbaue der Grubengebäude Marie und Bartensleben zugeordnet, die durch den eingebrachten Versatz geomechanisch zu stabilisieren sind. Hierzu gehören die Grubenbaue des Zentralteils, die im Rahmen der bGZ bereits verfüllt worden sind, sowie alle Grubenbaue, die als potenziell zutrittsgefährdet bewertet werden.

Die Klassifizierung in zutrittsgefährdete und nicht zutrittsgefährdete Grubenbaue erfolgt über bergbauübliche Sicherheitsabstände (Abb. 3.1-14). Als Kriterien werden dabei zum einen der Abstand zum Salzspiegel und zum anderen der Abstand zu Anhydritschollen betrachtet, wenn diese gleichzeitig Kontakt zum Salzspiegel haben und damit die Voraussetzung für einen möglichen Zutrittspfad gegeben ist. Grubenbaue mit einem Abstand von mehr als 130 m zum Salzspiegel sind demnach nicht zutrittsgefährdet. Grubenbaue im Abstand von 60 m bis 130 m zum Salzspiegel und einem Abstand von mehr als 25 m zum potenziellen Zutrittspfad Hauptanhydrit sind ebenfalls nicht zutrittsgefährdet. Alle Grubenbaue mit kleineren Abständen gelten als potenziell zutrittsgefährdet.

Zum Erreichen der erforderlichen Stützwirkung werden diese Grubenbaue möglichst vollständig verfüllt. Der Anteil der Verfüllkategorie II am zusätzlichen Salzbetonvolumen beträgt ca. 23 %.

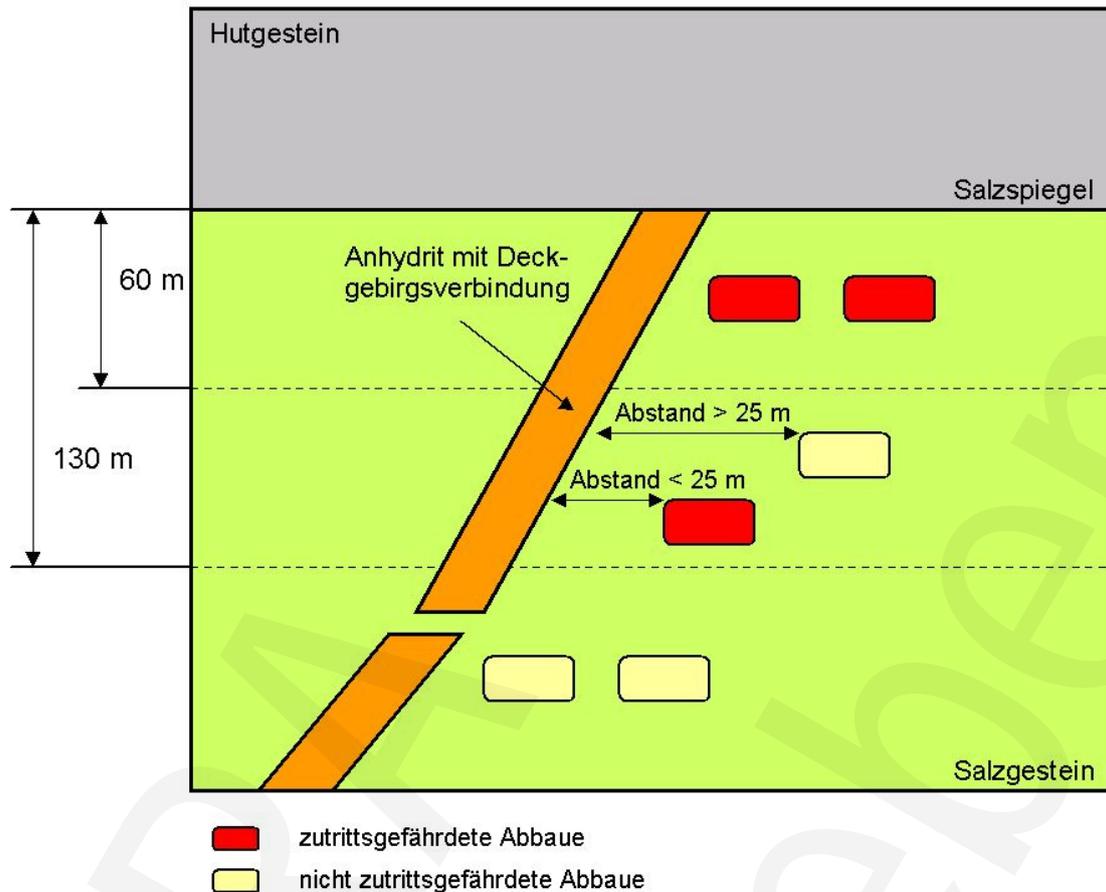


Abb. 3.1-14: Sicherheitsabstände zur Definition der Zutrittsgefährdung.

Grubenbaue, die nicht den Verfüllkategorien I, II oder IV zugeordnet sind, werden entsprechend der Verfüllkategorie III verfüllt. Ausgenommen von dieser Zuordnung sind die Schächte Bartensleben und Marie sowie die Unterwerksbaue. Die der Verfüllkategorie III zugeordneten Grubenbaue werden so verfüllt, dass die Maßnahmen zur Verfüllung der Grubenbaue der Verfüllkategorien I, II und IV unbeeinflusst bleiben. Zur Sicherstellung der globalen Standsicherheit der Grubengebäude wird der Verfüllgrad eines jeden Steinsalzabbaus einzeln festgelegt. Die der Verfüllkategorie III zugeordneten Strecken, Rolllöcher und Gesenke werden abschnittsweise vollständig verfüllt. Zusätzlich zur Wahrung der Standsicherheit dient die Verfüllung von Grubenbauen der Verfüllkategorie III dazu, das vorhandene Hohlraumvolumen zu reduzieren und so Um- und Auflösprozessen bei einem nicht auszuschließenden Lösungszutritt entgegenzuwirken. 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 %.

In der Verfüllkategorie IV werden grundsätzlich alle Kalilager inklusive der dazu gehörigen Strecken und Gesenke der Grubengebäude Marie und Bartensleben

zusammengefasst. Primäres Ziel der Verfüllmaßnahme entsprechend der Verfüllkategorie IV ist es, die Um- und Auflösung leicht löslicher Kalisalzvorkommen zu begrenzen. Daher wird in allen Kalilagern (außer in den Unterwerksbauen) eine möglichst vollständige Verfüllung angestrebt. Die vollständige Verfüllung wird in den Kalilagern nicht überall realisierbar sein, weshalb in den Langzeitsicherheitsanalysen zur Berechnung des Umlösevolumens nur 50 % des derzeit offenen Volumens als verfüllt angenommen werden.

Die Kalilager in den Unterwerksbauen des Südfeldes werden nicht verfüllt und bleiben als Speichervolumen für Überschusslösungen und potenziell über den Schacht Bartensleben zutretende Lösungen (Kapitel 5.4.1) erhalten. Aufgrund des zur Verfügung stehenden Speichervolumens ist ein frühzeitiges Hochlösen dieser Kalilager bis zur 4. Sohle und das Entstehen einer Wegsamkeit zwischen Südfeld und dem Zentralteil des Grubengebäudes Bartensleben vor Versagen der Abdichtungen ausgeschlossen.

Die stabilisierende Wirkung des Salzbetons in den Kalilagern ist bei den Standsicherheitsuntersuchungen nicht berücksichtigt worden.

Der Anteil der Verfüllkategorie IV am zusätzlichen Salzbetonvolumen beträgt ca. 18 %.

Durch die zur Verfüllkategorie I gehörenden Streckenabschnitte erfolgt die hydraulische Abdichtung der Einlagerungsbereiche West-Südfeld und Ostfeld zum restlichen Grubengebäude. Weil die zu den beiden Einlagerungsbereichen gehörenden Grubenbaue nicht durch Zuflüsse aus dem Gebirge gefährdet sind, ist deren Integrität gewährleistet. Das heißt, ein Lösungszutritt kann während der Nachbetriebsphase nur über die Abdichtungen erfolgen. Der Langzeitsicherheitsnachweis bildet diese Verhältnisse ab.

Verfüllablauf gemäß Verfüllplan

Die Reihenfolge der Verfüllung der Grubengebäude wird sowohl nach logistischen als auch bergbaulichen Gesichtspunkten festgelegt. Die Sicherheit im bestimmungsgemäßen Stilllegungsbetrieb und bei Störfällen findet dabei besondere Berücksichtigung.

Um einen Übertritt von potenziell kontaminierter Überschusslösung in während der Stilllegungsphase noch begehbare Grubenbereiche zu verhindern, werden die Zugangsstrecken zu den Einlagerungsgrubenbauen kurzfristig nach Beginn der Verfüllung durch temporäre Abdichtungen verschlossen. Des Weiteren erfolgt die Verfüllung grundsätzlich von unten nach oben und von den äußeren Bereichen zum Schacht Bartensleben. Die jeweils tiefer liegenden Sohlen werden dabei vorlaufend verfüllt, bevor mit der Verfüllung der darüber liegenden Bereiche begonnen wird.

Temporäre Abdichtungen

Ausschließlich auf der 4. Sohle (-372 m NN) im Grubenfeld Bartensleben werden vor der Verfüllung der großvolumigen Abbauhohlräume vier temporäre Abdichtungen in ausgewählten Streckenabschnitten des Nord- und Südfeldes und im Ostquerschlag aus Dammbaustoff errichtet (Abb. 3.1-15). Der Dammbaustoff besteht aus Zement, Steinkohlenfilterasche und Wasser. Eine weitere temporäre Abdichtung im Ostquerschlag des Ostfelds bildet den östlichen Abschluss der dortigen Abdichtung und wird aus zementbasiertem Beton hergestellt.

In Verbindung mit einer abschnittsweisen vollständigen Streckenverfüllung wird verhindert, dass die bei der Abbauverfüllung mit Salzbeton anfallende Überschusslösung, welche durch den Kontakt mit den radioaktiven Abfällen kontaminiert sein kann, in betrieblich noch genutzte Grubenbaue auf der 4. Sohle austreten kann. Die temporären Abdichtungen sind für die Dauer der Stilllegung bis zur Verfüllung des Schachtes Bartensleben nach dem Stand der Technik ausgelegt und bestehen jeweils aus einem ca. 20 m langen Segment. Die Kontaktzone zwischen Gebirge und Bauwerk wird durch eine Injektion ertüchtigt, um die sofortige Dichtheit zu gewährleisten.

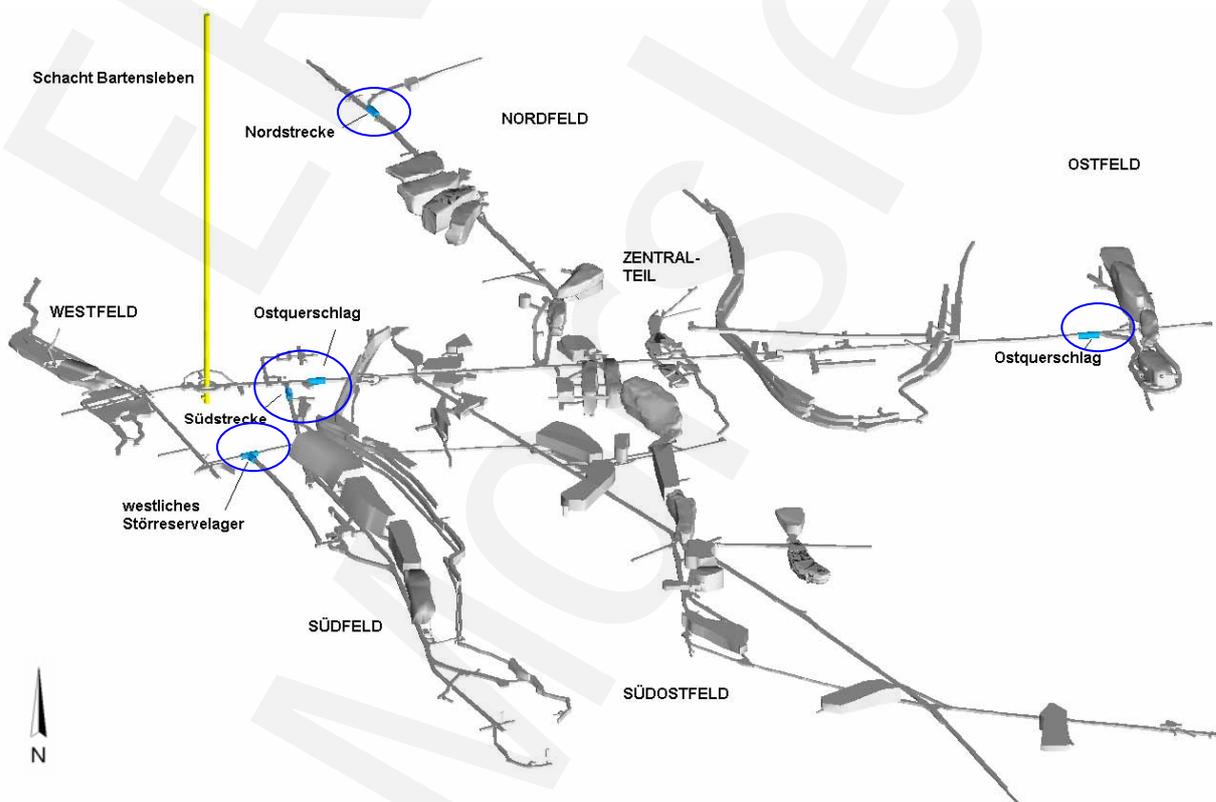


Abb. 3.1-15: Lage der temporären Abdichtungen (blaue Markierungen) auf der 4. Sohle des Grubengebäudes Bartensleben.

Verfüllreihenfolge

Die Verfüllung beginnt im Grubengebäude Bartensleben gleichzeitig im Nordfeld, Ostfeld und Südostfeld und kurz darauf im Südfeld. Das Westfeld und der Zentralteil mit dem Ostquerschlag folgen beim Rückzug auf den Schacht Bartensleben.

Die Verfüllung erfolgt generell in der Reihenfolge von unten nach oben und von außen nach innen auf den Schacht Bartensleben zu. Dadurch ergeben sich annähernd schräg gestellte Verfüllfronten (Abb. 3.1-16). Die 4. Sohle und damit die Einlagerungsbereiche werden möglichst frühzeitig abgeworfen.

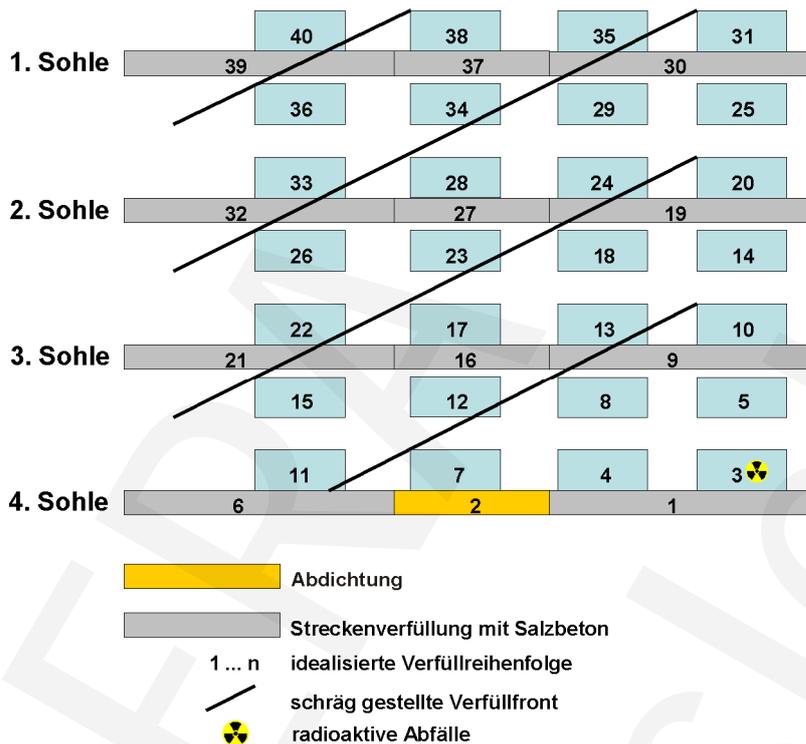
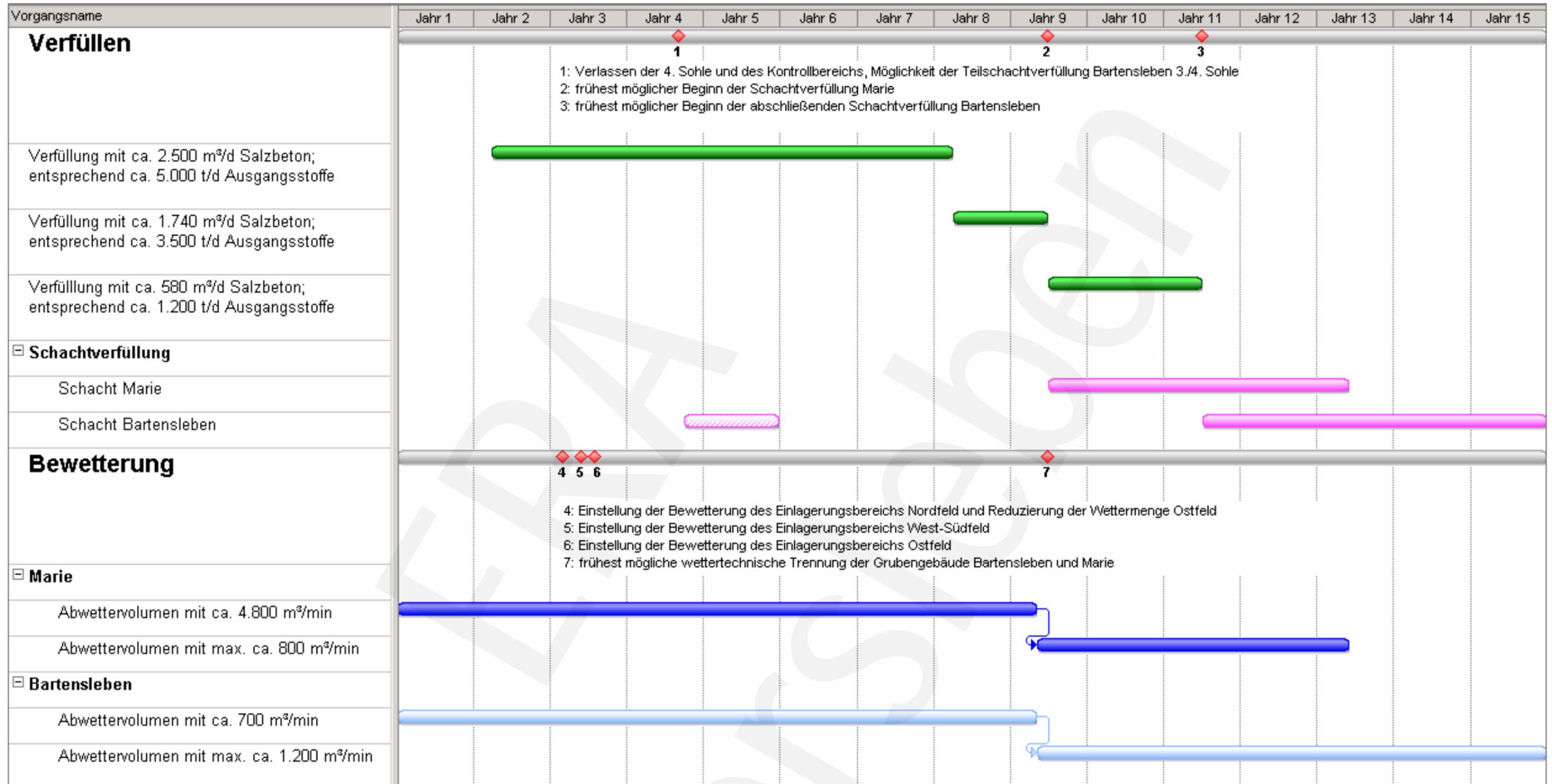


Abb. 3.1-16: Schematische Darstellung der Verfüllung mit idealisierter Verfüllreihenfolge.

Aufgrund der Rückzugswege aus dem Grubenfeld Bartensleben auf der 2. Sohle wird auf der 1. Sohle teilweise von dieser Reihenfolge unter Einhaltung eines sicheren Betriebes abgewichen.

Für einen kontinuierlichen Verfüllablauf sind Grubenbaue auf verschiedenen Sohlenniveaus im Nordfeld (4a- und 3. Sohle) und im Zentralteil (2., 2a- und 1. Sohle) vorgesehen, die als Puffer genutzt werden.

Die Verfüllung der Grubenbaue im Grubengebäude Marie beginnt etwa zeitgleich mit der Verfüllung im Grubengebäude Bartensleben. Analog wird dabei ebenfalls von unten nach oben und grundsätzlich von außen nach innen auf den Schacht Marie zu verfüllt. Die Verfüllung der Grube Marie wird vor der Verfüllung der Grube Bartensleben beendet sein.



 bei Teilschachtverfüllung Bartensleben 3./4. Sohle

Abb. 3.1-17: Ablaufplan mit den wesentlichen Stilllegungsmaßnahmen.

Verfüllung des Kontrollbereichs

Im Laufe der Verfüllmaßnahmen wird der Kontrollbereich innerhalb von vier Jahren sukzessive verfüllt. Als wesentliche Rückbauschritte gelten dabei die Errichtungen von temporären und langzeitsicheren Abdichtungen, die zur hydraulischen Abtrennung der einzelnen Einlagerungsbereiche von der Restgrube führen. Die Abfolge und Dauer der Herstellung der relevanten Abdichtungen ist im nachfolgenden Ablaufplan (Abb. 3.1-18) abgebildet. Im vierten Jahr nach Beginn der Verfüllmaßnahmen wird mit dem Südfeld der letzte Einlagerungsbereich und damit auch der gesamte Kontrollbereich innerhalb des Grubengebäudes bis zur Schnittstelle der Schachtverfüllung bzw. bis zum schachtnahen Bereich des Füllortes auf der –372 m-Sohle abgeworfen.

Vorgangsname	Jahr 1				Jahr 2				Jahr 3				Jahr 4			
	Q1	Q2	Q3	Q4												
1 temporäre Abdichtung, Nordstrecke				■												
2 temporäre Abdichtung, Ostquerschlag - Lager E					■											
3 Langzeitabdichtung, Ostquerschlag - Lager E						■	■	■								
4 Langzeitabdichtung, Störreservelager							■	■								
5 temporäre Abdichtung, Störreservelager								■								
6 Langzeitabdichtung, südl. Wetterstrecke							■	■								
7 temporäre Abdichtung, Südstrecke											■	■				
8 Langzeitabdichtung, Richtstrecke n. Süden											■	■				
9 Langzeitabdichtung, Westquerschlag												■				
10 Langzeitabdichtung, Ostquerschlag															■	■
11 temporäre Abdichtung, Ostquerschlag																■

Abb. 3.1-18: Ablaufplan zur Herstellung relevanter Abdichtungen im Kontrollbereich.

Aufbauend auf die Abb. 3.1-1 und Abb. 3.1-2 im Kapitel 3.1.2 verdeutlichen die Abb. 3.1-19 bis Abb. 3.1-22 die wesentlichen Rückbauschritte des Kontrollbereichs. Zur besseren Veranschaulichung sind dabei nur die Grubenbaue der 4. Sohle und der 4a-Sohle des Grubengebäudes dargestellt, die zum Kontrollbereich zählen. Die Nummerierung in den Abbildungen orientiert sich am jeweiligen Beginn der Arbeiten zur Herstellung der einzelnen Abdichtungen. Wie aus dem Ablaufplan (Abb. 3.1-18) ersichtlich ist, werden diese dann teilweise auch parallel erstellt. In den einzelnen Abbildungen werden die Verfüllzustände visualisiert, bei denen jeweils die Feldesteile in ihrer Gesamtheit abgeworfen werden.

Während der Stilllegungsmaßnahmen auf der 4. Sohle werden auch Grubenbaue auf darüber liegenden Sohlen bereits verfüllt. Die Abb. 3.1-23 zeigt den Verfüllstatus der Grube Bartensleben nach dem Abwerfen des Kontrollbereichs.

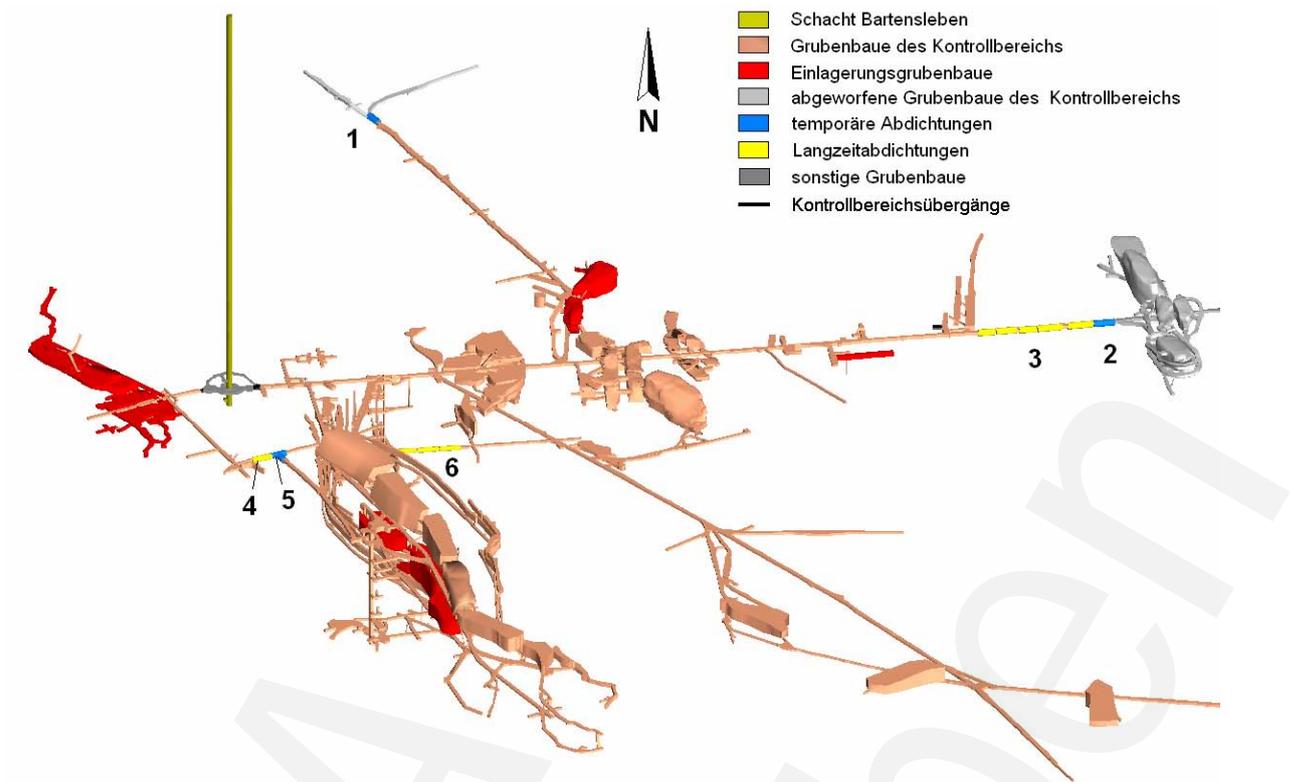


Abb. 3.1-19: Nordstrecke und nordöstlicher Querschlag sowie Ostfeld verfüllt und abgeworfen (Kontrollbereichszustand im 2. Stilllegungsjahr).

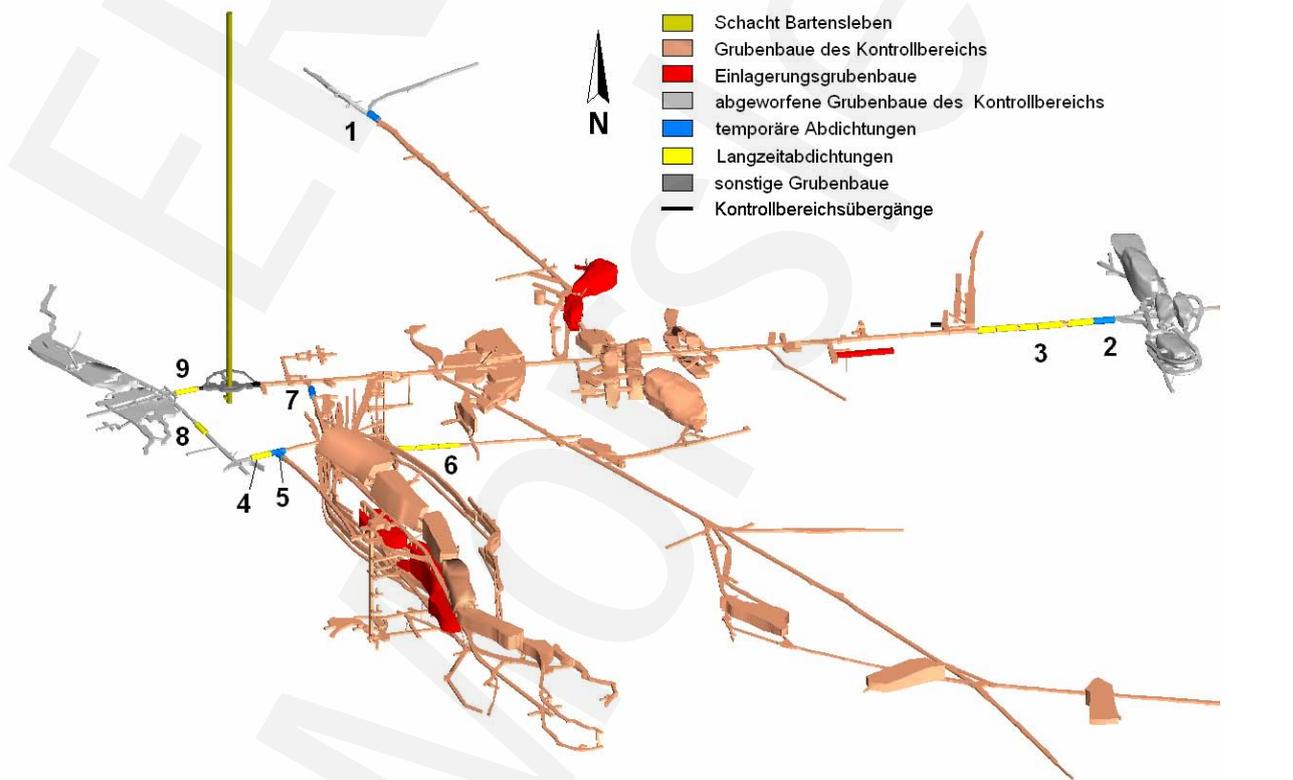


Abb. 3.1-20: Westfeld verfüllt und abgeworfen (Kontrollbereichszustand im 3. Stilllegungsjahr).

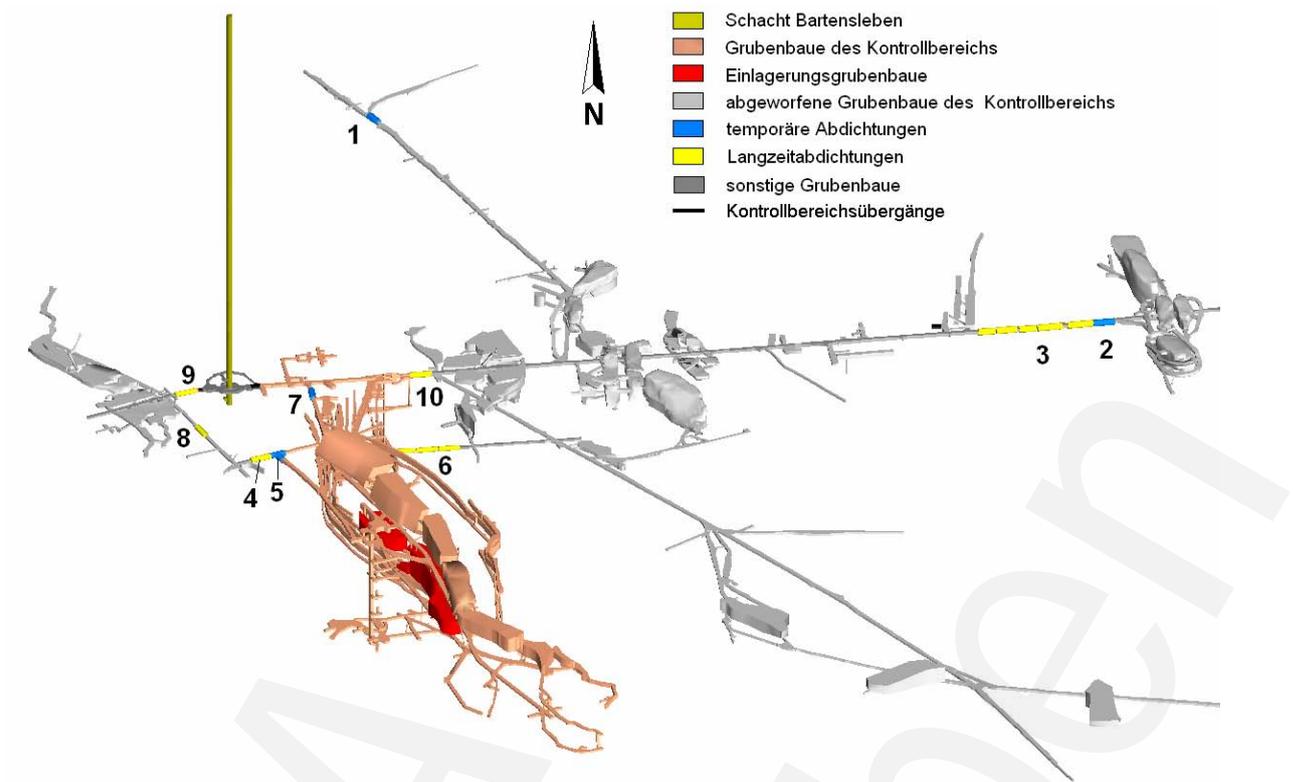


Abb. 3.1-21: Zentralteil, Nordfeld und Südostfeld verfüllt und abgeworfen (Kontrollbereichszustand im 4. Stilllegungsjahr).

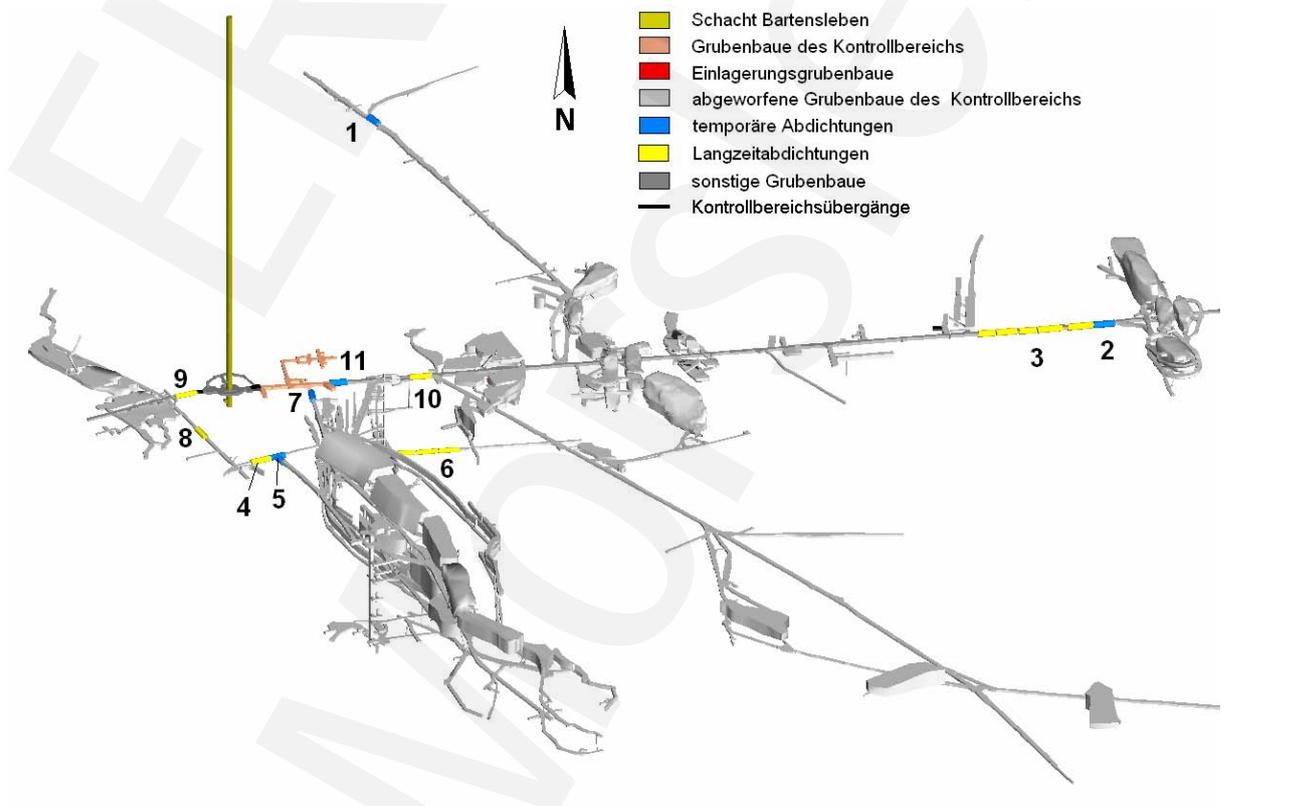


Abb. 3.1-22: Südfeld verfüllt und abgeworfen (Kontrollbereichszustand im 4. Stilllegungsjahr).

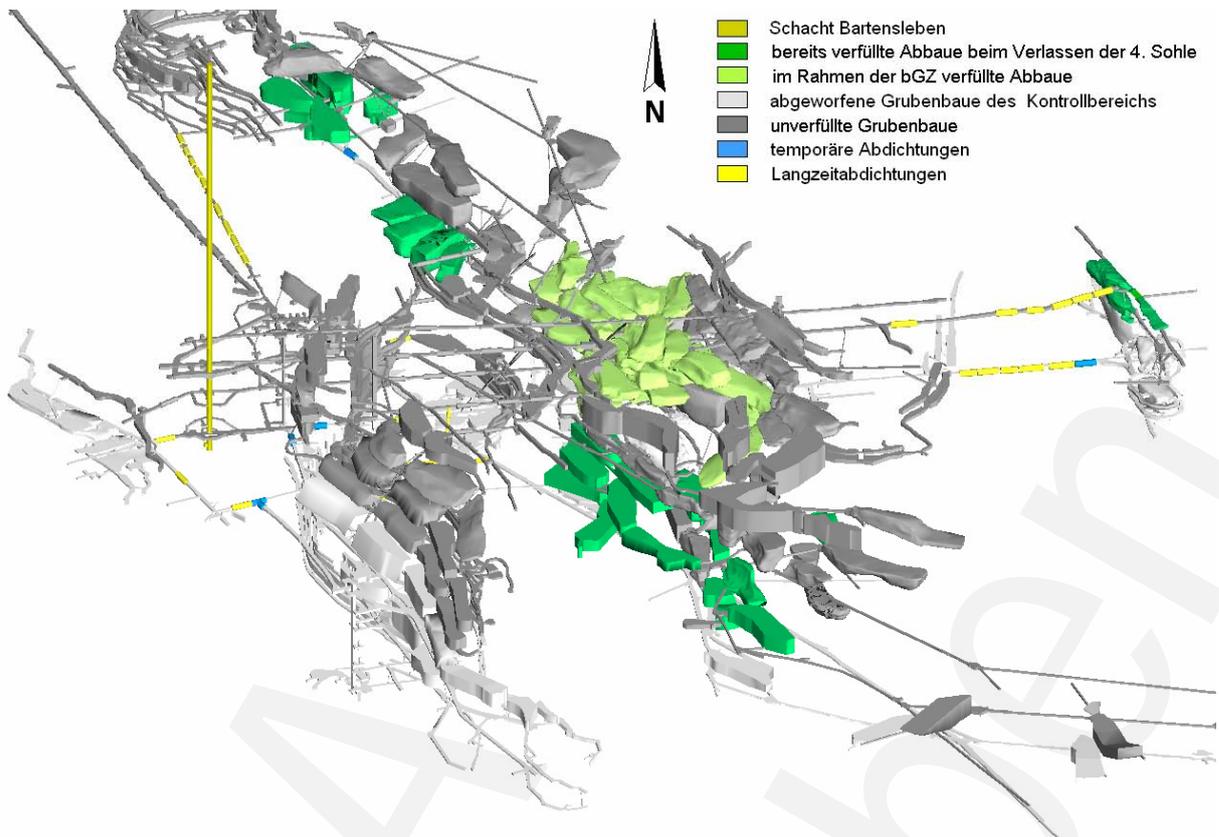


Abb. 3.1-23: Verfüllstatus der Grube Bartensleben nach dem Abwerfen der Grubenbaue des Kontrollbereichs.

Bewetterung

Die Versorgung des Grubenbetriebes mit frischen Wetterern erfolgt während der Verfüllung nach dem Prinzip der Grundstreckenbewetterung. Dies bedeutet, dass die gesamten Frischwetter (max. Wettermengenbedarf $5.500 \text{ m}^3/\text{min}$) bis zur wettertechnischen Trennung über den Schacht Bartensleben einziehen. Sie werden anfangs überwiegend bis zur 4. Sohle geführt. Über Flächen und Gesenke werden die Wetter je nach Schwerpunkten der Stilllegungsmaßnahmen den einzelnen Sohlenniveaus und Feldesteilen zugeleitet und mittels Ventilatoren, Wetterlenk- und Leiteinrichtungen verteilt. Über Verbindungsstrecken auf der 2. und 3. Sohle, in denen auch die untertägigen Hauptgrubenventilatoren installiert sind, werden die Wetter in das Grubengebäude Marie geführt. Der größte Teil der Abwetter zieht über Schacht Marie aus und wird über das Abwetterbauwerk nach über Tage abgeleitet. Die Abwetter aus dem Kontrollbereich der 4. Sohle werden solange über Schachtlutten und das Mehrzweckgebäude Bartensleben abgeführt, bis die Einlagerungsgrubenbaue verfüllt und verschlossen sind.

Nach der Verfüllung der 4. Sohle wird die Hauptwetterführung auf die 3. Sohle verlagert. Nach Verfüllen des Niveaus der 3. Sohle bleibt die Wetterverbindung nach

Marie im Niveau -291 m NN bis zur wettertechnischen Trennung beider Grubengebäude erhalten (Abb. 3.1-17).

Die durchgehende Bewetterung endet mit der wettertechnischen Trennung der Grubengebäude Bartensleben und Marie ca. zwei Jahre vor Ende der Verfüllarbeiten. Die dann verbleibenden zur Verfüllung anstehenden Grubenbaue und schachtnahen Bereiche werden anschließend mit separaten Sonderbewetterungsanlagen versorgt. Am Schacht Bartensleben werden dazu teilweise vorhandene Einrichtungen (Schachtlutten, Lüfter) genutzt. Im Schacht Marie wird für die Sonderbewetterung eine neue Luttenleitung für Frischwetter installiert.

Großbohrloch

Die Einlagerungsbereiche Westfeld und Südfeld werden über ein neu aufzufahrendes Großbohrloch miteinander verbunden (siehe Abb. 2.6-2). Das Großbohrloch schließt im Westfeld im Niveau von -332 m NN und im Südfeld auf -253 m NN an. Das Bohrloch wird mit Schotter verfüllt, wodurch langfristig eine gasdurchlässige Verbindung zwischen dem West- und Südfeld gewährleistet ist. Dadurch wird verhindert, dass der durch Gasentwicklung entstehende Druckaufbau im Westfeld zu Wegsamkeiten im Gebirge führen kann.

Die Auffahrung und die Verfüllung des Großbohrlochs sind räumlich und zeitlich weitgehend unabhängig vom sonstigen Verfüllbetrieb durchführbar.

3.1.6 Verfüllen der Schächte Bartensleben und Marie

Die Verschlussysteme für die Schächte Bartensleben und Marie (Abb. 3.1-24) sind gestuft aufgebaut. Die einzelnen Elemente (Dichtelemente 1 bis 3 und asphaltdichter Kern) übernehmen dabei statische und dichtende Funktionen.

Bis über das Niveau der obersten Sohle in den Schächten wird eine untere Widerlagersäule aus setzungsarmem Schotter eingebaut. Der Porenraum dieser unteren Widerlagersäule wird in ihrem oberen Bereich (zwischen oberster Sohle und Unterkante des kombinierten Widerlager-Dichtelementes 3) mit einer Sole-Zementstein-Suspension ausgefüllt. Damit werden die darüber befindlichen Elemente der Schachtverfüllung dauerhaft in ihrer Lage stabilisiert. Zur Sicherung des Materials gegen Auslaufen sind die Zugänge von den Schächten in die Grubengebäude durch ausreichend dimensionierte Vorschüttungen gesichert und im Anschluss mit Salzbeton verfüllt.

Auf der unteren Widerlagersäule lagert das aus drei Dichtelementen und einem asphaltlichten Kern bestehende Dichtelementsystem, dessen Aufgabe die langzeitstabile Abdichtung der Schachtsäule ist. Dieses Dichtelementsystem ist in seiner Wirkungsweise redundant und vom Material her diversitär aufgebaut.

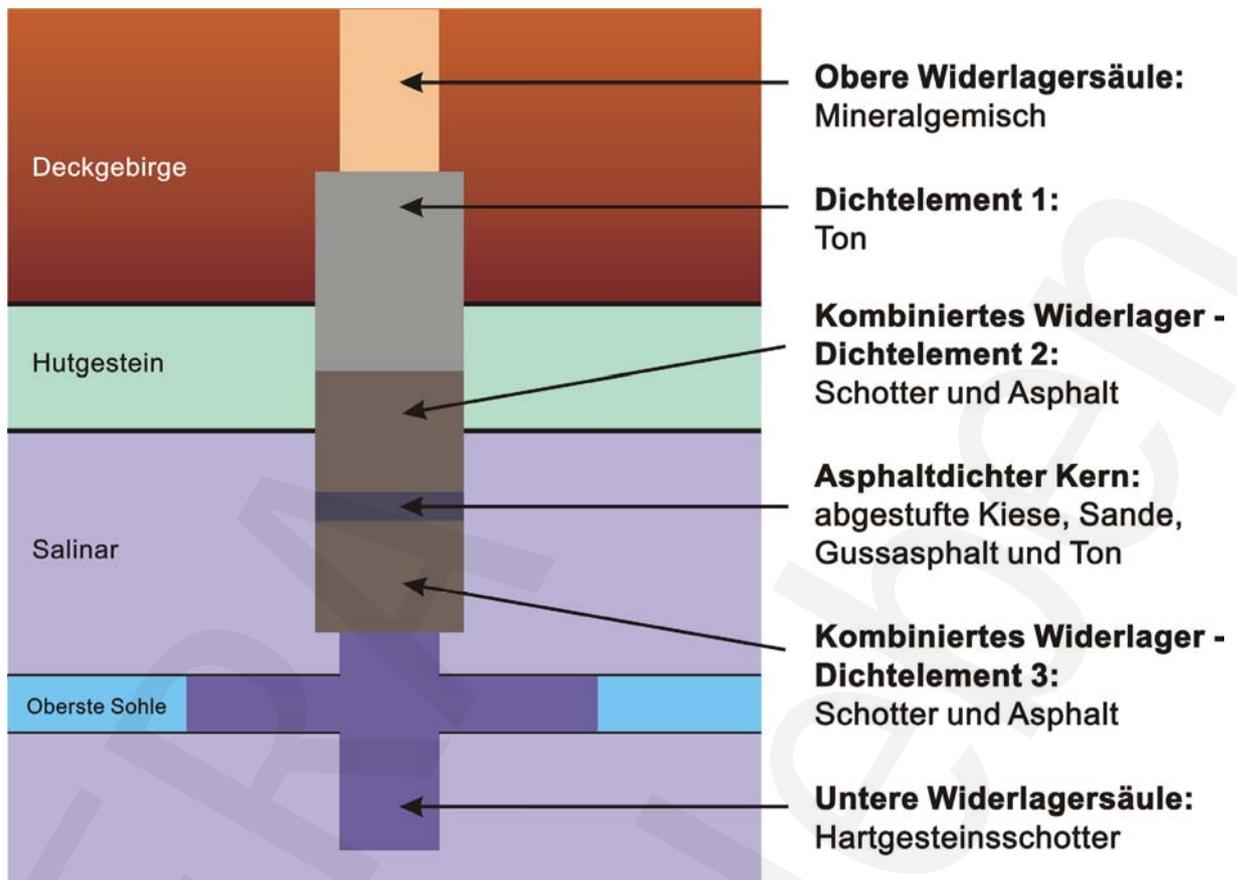


Abb. 3.1-24: Schachtverschlussystem (Prinzipskizze).

Die kombinierten Widerlager-Dichtelemente 3 und 2 bestehen jeweils aus einem langzeitstabilen und setzungsarmen Schottergerüst mit einer Porenraumfüllung aus Asphalt. Der „asphaltlichte Kern“, der zwischen den beiden Dichtelementen angeordnet ist, besteht aus Gussasphaltplatten, Ton und Filterschichten. Er verhindert die Durchmischung der unterschiedlich schweren Asphalte aus den kombinierten Widerlager-Dichtelementen 2 und 3.

Das oberhalb des kombinierten Widerlager-Dichtelements 2 angeordnete Dichtelement 1 besteht aus Ton.

Das Dichtelementsystem 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 (Abb. 3.1-24). In den Bereichen der Dichtelementsysteme 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 erfolgen im Wechselbetrieb in getrennten Arbeitsgängen.

Die während des Einbaus der Verschlusselemente zutretenden Wässer aus dem Deckgebirge werden, wie bereits im täglichen Betrieb praktiziert, kontinuierlich gefasst und nach über Tage gehoben.

Über dem Dichtelementsystem 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.

3.2 ABLAUF DER MATERIALTRANSPORTE

Nach Planfeststellungsbeschluss wird der Hersteller des Versatzmaterials Salzbeton durch Ausschreibung ermittelt. Die Art der Anlieferung hängt vom Ausgang des Ausschreibungsverfahrens ab. Der Transport des Salzbetons in die Grubengebäude erfolgt mittels Rohrleitung und ist in Abb. 3.2-1 schematisch dargestellt.

Alle übrigen Materialien werden bis zum Beginn der Schachtverfüllung mit der Schachtförderanlage nach unter Tage verbracht und mit Transportfahrzeugen zum Einsatzort transportiert.

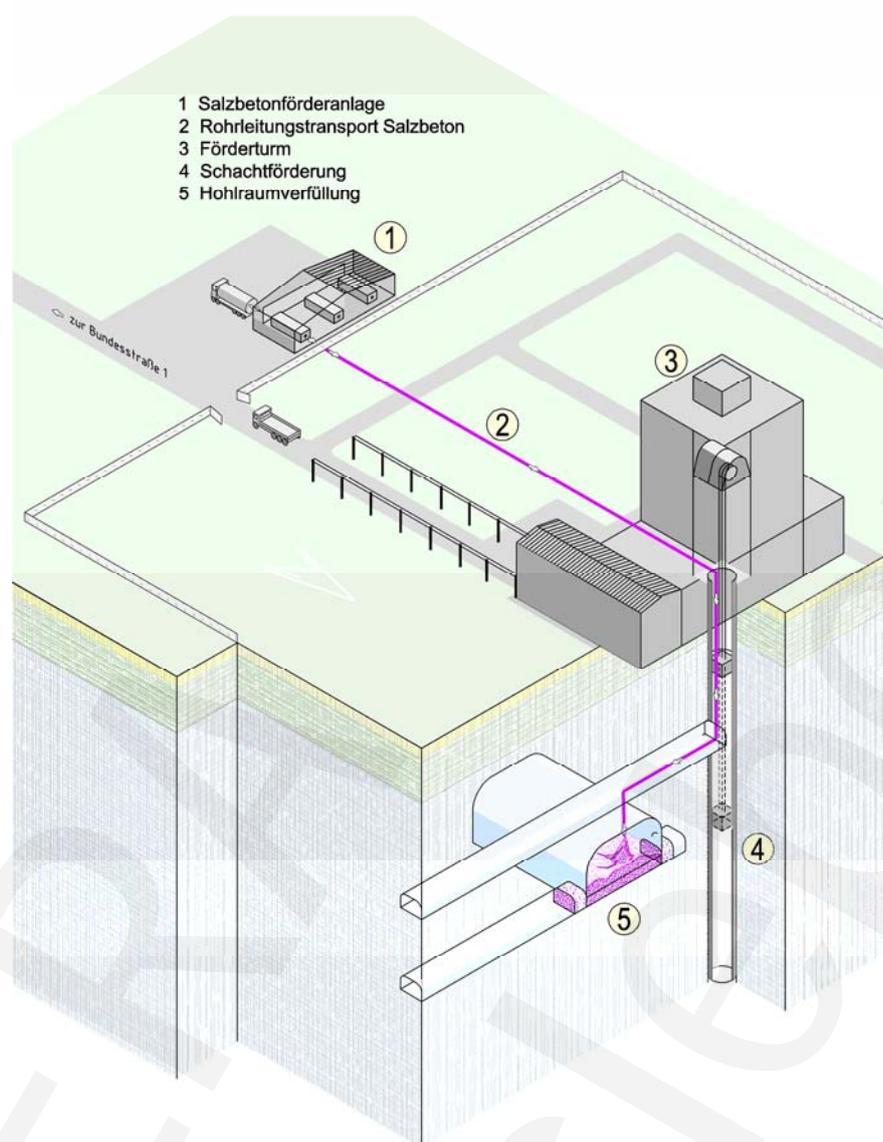


Abb. 3.2-1: Schematische Darstellung des Ablaufes des Versatzmaterialtransportes.

3.3 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 und mit der Betriebsführung für die Stilllegung beauftragen.

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 als 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 Unterweisung 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 nach BBergG bestellt bzw. beruft für diese Verantwortungsbereiche jeweils verantwortliche Mitarbeiter und Beauftragte für Arbeitssicherheit, Gefahrstoffe, Sprengwesen, Bewetterung, Grubenrettungswesen, Objektschutz, Abfall, Laserschutz, Gewässerschutz und betriebsärztlichen Dienst.

Das Betriebspersonal des Betriebsführenden verfügt über das zur Erfüllung seiner Aufgaben notwendige Fachwissen, dessen Erwerb durch entsprechende Fachkundennachweise bestätigt ist. Zur Erhaltung und Aktualisierung der erworbenen Qualifikation werden regelmäßige Schulungen und Unterweisungen vorgenommen.

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. Betriebsvorgänge, die dem Strahlenschutz unterliegen, werden gemäß § 34 Nr. 4 StrlSchV im Betriebsbuch Strahlenschutz dokumentiert.

Sämtliche sicherheitsbedeutsame betriebliche 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 maßgeblichen Angaben über den betriebs- und sicherheitstechnischen Zustand der Anlagen aufgenommen.

3.4 BETRIEBLICHE ABFÄLLE

3.4.1 Betriebliche radioaktive Abfälle

Während der Stilllegung des ERAM werden in nennenswerten Umfang keine radioaktiven Reststoffe neu anfallen. Die Aktivität der radioaktiven Reststoffe ist vom bilanzierten Aktivitätsinventar der eingelagerten radioaktiven Abfälle umfasst.

Seit der Beendigung des Einlagerungsbetriebes im ERAM beschränken sich die Maßnahmen zur Vermeidung des Anfalls von radioaktiven Reststoffen darauf, Kontaminationen zu verhindern und zu beheben, Kontaminationsverschleppung zu vermeiden sowie Stoffe, die gemäß § 29 StrlSchV als nicht radioaktiver Stoff freigegeben werden können, einer schadlosen Verwertung zuzuführen.

Radioaktive Reststoffe, die während des Stilllegungsbetriebes anfallen oder bereits zu Beginn des Stilllegungsbetriebes im ERAM vorhanden sind, sowie ausgebaute oder abgebaute radioaktive Anlagenteile sind nach den Anforderungen des § 9a AtG schadlos zu verwerten oder als radioaktive Abfälle geordnet zu beseitigen. Alle Reststoffe und Anlagenteile aus dem Kontrollbereich gelten zunächst als potenziell kontaminiert. Als Voraussetzung für ihre externe Verwertung muss deshalb die Einhaltung der Freigabewerte nach § 29 StrlSchV nachgewiesen werden. Eine Endlagerung oder externe Entsorgung als betrieblicher radioaktiver Abfall erfolgt, wenn die Einhaltung der Freigabewerte nach § 29 StrlSchV nicht oder nur mit einem unverhältnismäßigen Aufwand nachgewiesen werden kann bzw. wenn sie nicht oder nur mit unverhältnismäßigem Aufwand schadlos verwertet werden können. Endgelagert werden betriebliche radioaktive Abfälle vorzugsweise durch deren Verbleib vor Ort in dafür geeigneten Einlagerungsgrubenbauen und Funktionsräumen auf der 4. und der -357 mNN-Sohle oder durch deren Verbringung in die noch nicht abgeschlossenen Teile des Westfeldes 2 auf der 4. Sohle. Sofern eine Endlagerung nicht möglich ist (z. B. nach dem Abschließen aller geeigneten Lagerorte im Zuge der Stilllegung) oder nicht zulässig ist (z. B. im Falle von Sonderabfällen), werden die betrieblichen radioaktiven Abfälle an die für das Land Sachsen-Anhalt zuständige Landessammelstelle oder an das Endlager Konrad abgegeben. Die extern zu entsorgenden betrieblichen radioaktiven Abfälle werden für den Transport entsprechend den einschlägigen Rechtsvorschriften verpackt.

Eine Abschätzung hat ergeben, dass während der Stilllegung ca. 180 m³ feste metallische betriebliche radioaktive Abfälle endgelagert werden. Weiterhin werden bis zu 30 m³ feste radioaktive Mischabfälle aus Lüftungstechnischen Anlagen und bis zu 20 m³ feste radioaktive Mischabfälle in Form von Reinigungstüchern, Schutzkleidung, Arbeitsgeräten, Laborgeräten und -materialien sowie aus Dekontaminations- und Rückbaumaßnahmen anfallen. Die Aktivitätskonzentration der festen betrieblichen radioaktiven Abfälle reicht von ca. 10⁵ Bq/m³ (z. B. Mischabfälle) bis zu ca. 10⁹ Bq/m³ (nicht entnehmbare wässrige Restflüssigkeiten (ca. 320 l) in ausgedienten Transportbehältern).

In geringen Mengen können auch organische flüssige betriebliche radioaktive Abfälle wie Motor- und Getriebeöle, Hydrauliköle, Bremsflüssigkeit oder Szintillatorflüssigkeit anfallen. Die Konzentration radioaktiver Stoffe in diesen Sonderabfällen, die extern entsorgt werden müssen, kann bis ca. 10⁵ Bq/m³ betragen.

Weiterhin fallen ca. 30 m³ wässrige betriebliche radioaktive Abfälle an, die endlagergerecht konditioniert werden. Es handelt sich dabei um Abwässer aus der Dekontamination von Anlagen und Ausrüstungen sowie um potenziell kontaminierte

Sanitär- und Laborabwässer. Diese werden mit Ausnahme der Sanitärwässer den Tanks für Eindampfrückstände im EDR-Tanklager auf der 4. Sohle zugegeben. Die maximalen Inventare radioaktiver Stoffe betragen $1,6 \cdot 10^9$ Bq im EDR-Tank 1, $1,6 \cdot 10^8$ Bq im EDR-Tank 2 und $1,5 \cdot 10^9$ Bq in einer Konditionierungscharge von vierundzwanzig 200-l-Fässern. Die Inventare sind abdeckend, da eine Verdünnung der Tankinhalte infolge einer Zugabe von schwach kontaminierten Abwässern nicht berücksichtigt wird. Tab. 3.4-1 schlüsselt die Inventare nuklidspezifisch auf. C-14 und flüchtige radioaktive Stoffe sind im angegebenen Inventar nicht enthalten (H-3 ist in Eindampfrückständen kaum relevant, da prozessbedingt verflüchtigt).

Tab. 3.4-1: Maximales nuklidspezifisches Inventar radioaktiver Stoffe in den EDR-Tanks und in einer Konditionierungscharge (in Bq)

Radionuklid	EDR-Tank 1	EDR-Tank 2	Charge ⁽¹⁾
Co-60	1,2E+07	3,4E+07	1,1E+07
Cs-137	1,2E+08	1,2E+08	1,1E+08
Cs-134	2,9E+05	3,3E+05	2,7E+05
Eu-152	1,4E+07	<NG	1,3E+07
Eu-154	5,1E+06	<NG	4,8E+06
Eu-155	3,5E+06	<NG	3,3E+06
Sr-90	1,5E+09	4,5E+06	1,4E+09
Ni-63	<NG	<NG	–
Fe-55	<NG	<NG	–

<NG = unterhalb der experimentellen Nachweisgrenze.

⁽¹⁾ Berechnet aus der gemessenen Konzentration radioaktiver Stoffe im EDR-Tank 1 und der verarbeiteten Flüssigkeitsmenge von 90 l pro Fass bei einer angenommenen Dichte von 1 kg/l und der Anzahl von 24 Fässern pro Konditionierungscharge.

Feste potenziell kontaminierte und kontaminierte betriebliche Abfälle (vor allem Anlagenteile) verbleiben vorzugsweise vor Ort in den dafür geeigneten Einlagerungsgrubenbauen und Funktionsräumen im

- Zentralteil –357 mNN-Sohle (oberhalb der Versatzschicht in der Überführung der Kaverne und im Abbau 1a nördlich),
- Südfeld 4. Sohle (im Lager- und Konditionierungsbereich für flüssige radioaktive Abfälle),
- Westfeld 4. Sohle (im noch nicht abgeschlossenen Teil des Westfelds 2),
- Untertagemessfeld 4. Sohle (im UMF II).

Ferner verbleiben vor Ort die bereits vorlaufend zum Stilllegungsbetrieb endlagergerecht eingelagerten betrieblichen radioaktiven Abfälle, die in den bereits abgeschlossenen und/oder versetzten Einlagerungsgrubenbauen den radioaktiven Abfällen externer Verursacher beigelegt sind und zusammen mit diesen in Kap. 2.1.4 betrachtet wurden.

Ebenfalls vor Ort verbleiben die verfestigten radioaktiven Flüssigabfälle in den Versuchsbereichen zur Durchsumpfung 1 westlich und 1 östlich auf der 4. Sohle im Westfeld. Dort wurden Mitte 1982 probeweise wässrige Flüssigabfälle aus dem Betrieb von Kernkraftwerken (0,016 m³ westlich bzw. 0,08 m³ östlich) mit Braunkohlenfilterasche (0,7 m³ westlich bzw. 0,4 m³ östlich) verfestigt. Im Versuchsbereich zur Durchsumpfung 1 westlich ist der verfestigte Flüssigabfall in einem Sohlenbohrloch mit Beton weitgehend überdeckt. Nach Beendigung der Versuche wurden die Versuchsbereiche mit Mauern abgeschlossen, jedoch nicht versetzt. Die Inventare radioaktiver Stoffe betragen 1/1.500 (westlich) bzw. 1/300 (östlich) des Inventars der Durchsumpfungsrube aus Tab. 2.1-3. Das sind insgesamt 4,4·10⁷ Bq (westlich) bzw. 2,3·10⁸ Bq (östlich).

Des Weiteren verbleiben vor Ort die Lösungen bzw. eingetrocknete Lösungsreste auf der 7. Sohle der Unterwerksbaue des Südfelds, siehe Kap. 2.1.4. Tab. 3.4-2 führt die zuletzt bei einer Befahrung in 1998 in den Lösungen gemessenen, auf das Bezugsdatum 30.06.2005 umgerechneten nuklidspezifischen Konzentrationen radioaktiver Stoffe auf. Das Gesamtinventar ergibt sich aus der bei der Befahrung vorgefundenen Gesamtlösungsmenge von ca. 300 m³ und beträgt 5,6·10¹¹ Bq.

Tab. 3.4-2: Nuklidspezifisches Inventar der Lösungen bzw. eingetrockneter Lösungsreste in den Unterwerksbauen auf der 7. Sohle (in Bq/m³)

Grubenbau	Co-60	Cs-134	Cs-137	H-3
Verbindungsstrecke	8.3E+05	2.6E+05	1.8E+09	5.1E+07
Füllort Umfahrung	8.4E+05	2.9E+05	1.8E+09	5.1E+07
Kalilager in der Richtstrecke Südfeld	1.8E+05	2.3E+05	1.8E+09	4.1E+07
Strecke nach Süden	8.8E+05	2.3E+05	1.9E+09	5.0E+07
Aufstieg zur 7a Sohle	9.0E+05	2.7E+05	1.8E+09	5.1E+07
mittlere Konzentration in Bq/m ³	7.3E+05	2.6E+05	1.8E+09	4.9E+07
Inventar in Bq⁽¹⁾	2.2E+08	7.7E+07	5.5E+11	1.5E+10

⁽¹⁾ Berechnet aus der mittleren gemessenen Konzentration radioaktiver Stoffe in den Grubenbauen der 7. Sohle und der bei der Befahrung vorgefundenen Gesamtlösungsmenge von ca. 300 m³.

Die nicht vor Ort verbleibenden festen und flüssigen betrieblichen radioaktiven Abfälle werden im Kontrollbereich gesammelt und endlagergerecht konditioniert und verpackt. Die Endlagerung dieser Abfälle erfolgt in den noch nicht abgeschlossenen Teilen des Westfeldes 2 auf der 4. Sohle.

In den Aktivitätsangaben der end- oder zwischengelagerten radioaktiven Abfälle (Kapitel 2.1.4) sind die Aktivitäten der oben genannten betrieblichen radioaktiven Abfälle bereits enthalten.

Neben den oben genannten betrieblichen radioaktiven Abfällen werden noch einige Strahlenquellen anfallen, die im Stilllegungsbetrieb benötigt werden (z. B. als Kalibrierstrahler, Prüfstrahler und Füllstandanzeiger). Die Aktivität der Strahlenquellen reicht von einigen Bq (Prüfstrahler) bis zu maximal ca. 5,4 GBq

(Füllstandanzeiger). Die nicht mehr benötigten oder aufgrund der Abklingzeiten nicht mehr gebrauchsfähigen Strahler werden extern entsorgt oder sie verbleiben vor Ort als betriebliche Abfälle in den dafür geeigneten Funktionsräumen des betrieblichen Strahlenschutzes auf der 4. Sohle (im Probenaufbewahrungsschrank des Radionuklid-Laborplatzes, im Lagerraum der Warte der Strahlenschutzüberwachung und im Quellentresor des Kalibrierungsraums). Die Aktivität der endzulagernden Strahlenquellen wird bilanziert.

Nachdem alle geeigneten Lagerorte abgeschlossen sind, können schätzungsweise maximal ca. 1 m³ feste betriebliche radioaktive Abfälle und maximal ca. 1 m³ flüssige betriebliche radioaktive Abfälle anfallen, die folglich extern entsorgt werden müssen.

3.4.2 Sonstige betriebliche Abfälle

Tab. 3.4-3 führt die in dem Grubengebäude Bartensleben vorhandenen und verbleibende Stoffe auf, die durch Korrosion und sonstige langfristige Reaktionen Gase bilden können, abgesehen von den in Tab. 2.1-4 bereits enthaltenen gasbildenden Stoffe. Es handelt sich um betriebliche Abfälle sowohl aus dem Bergbau- als auch aus dem Einlagerungsbetrieb. Neben den Einlagerungsbereichen werden auch weitere Grubenbaue betrachtet. Die Einteilung erfolgte in Bereiche, wie sie in der Langzeitsicherheitsanalyse betrachtet werden (Bereiche LZSA). Die Unterscheidung der gasbildenden Materialien erfolgt nach metallischen (Eisen, Stahl, Zink, Kupfer) und organischen Stoffen (Papier, Pappe, zellulosehaltige Stoffe, Holz).

Tab. 3.4-3: Sonstige betriebliche Abfälle im Grubengebäude Bartensleben.

Bereiche LZSA	Gesamtinhalt		
	Organische Stoffe in t	Metallische Stoffe in t	Gesamt in t
Ostfeld	20	90	110
Südfeld	160	590	750
Westfeld	10	40	50
Restgrube Bartensleben	390	1840	2230
Grubengebäude Bartensleben	580	2560	3140

Da nicht alle Grubenbaue zugänglich sind, wurden die erfassten Materialmengen unter Berücksichtigung der für die Bestandsaufnahme befahrenen Grubenbaue für die nicht befahrbaren Grubenbaue hochgerechnet.

Für das Grubengebäude Marie wurden ca. 1.400 t gasbildende Materialien abgeschätzt.

Diese Betrachtungen ergaben, dass insgesamt ca. 4.540 t nicht radioaktive und zum Teil kontaminierte Materialien in den Grubengebäuden Bartensleben und Marie zur Gasbildung beitragen können.

3.5 STRAHLUNGSÜBERWACHUNG

Die Strahlungsüberwachung des ERAM wird zum Schutz von Personal, Bevölkerung und Umgebung durchgeführt. Sie dient der Kontrolle, dass die maximal zulässigen Werte für Ableitungen im bestimmungsgemäßen Stilllegungsbetrieb eingehalten sind und stellt sicher, dass Freisetzungen im Falle von Störungen oder Störfällen erfasst werden. Die Anforderungen der StrlSchV an Aufzeichnung und Dokumentation der dafür ermittelten Ergebnisse werden eingehalten.

Die Strahlungsüberwachung des ERAM umfasst:

- Arbeitsplatzüberwachung
- Personendosimetrie
- Emissionsüberwachung
- Immissionsüberwachung

Die im Rahmen der Strahlungsüberwachung eingesetzten festinstallierten und mobilen Messeinrichtungen entsprechen den Anforderungen gemäß § 67 StrlSchV und lehnen sich an die Regeln des kerntechnischen Ausschusses (KTA) an.

Arbeitsplatzüberwachung

Eine Kontamination von Anlagenbereichen und Personen ist nur noch im Zusammenhang mit dem Umgang mit betrieblichen radioaktiven Abfällen und bei Beprobungen möglich. Messgeräte für entsprechende Kontrollen werden vorgehalten.

An den untertägigen Arbeitsplätzen wird die Raumluft überwacht, wenn Luftkontaminationen nicht auszuschließen sind. Die Überwachungsorte werden vom Strahlenschutzbeauftragten festgelegt. Folgende Probenahmen und Messungen werden durchgeführt:

- Kontinuierliche Anreicherung von langlebigen aerosolgebundenen Radionukliden auf einem Filter bei gleichzeitiger Messung der angereicherten Aktivität mittels Aerosolmonitor,
- kontinuierliche Sammlung von Radonfolgeprodukten auf einem Filter bei gleichzeitiger Messung der gleichgewichtsäquivalenten Radonkonzentration (EEC) mittels Aerosolmonitor,
- kontinuierliche Messung von Rn-222 mittels Radonmonitor,
- kontinuierliche Anreicherung von Aerosolen auf Festfiltern zur späteren Auswertung im Labor bezüglich der Gesamtaktivität von α - und β -Strahlern,

- kontinuierliche Anreicherung von H-3 (HTO) und C-14 (CO₂) in geeigneten Sammelmedien (Sorptionmittel oder Waschflasche) zur späteren Auswertung im Labor (Abtrennung und Flüssigszintillationsanalyse).

Ergänzend werden zur Bewertung der radiologischen Daten an den Wettermessstellen die Parameter Feuchte, Temperatur und Luftdruck kontinuierlich gemessen. Wenn im Zuge des Rückbaus die Bestimmung einzelner Messwerte an einzelnen oder allen Messorten nicht mehr erforderlich ist, kann mit Zustimmung der atomrechtlichen Aufsicht deren Bestimmung entfallen.

Für die Personen- und Materialschleusung in den und aus dem Kontrollbereich sind Eingangs- und Ausgangskontrolleinrichtungen vorhanden. Der Kontrollbereich umfasst die -372 m-Sohle mit Ausnahme des schachtnahen Bereichs, die -346 m-Sohle sowie die -420 m-Sohle bis -500 m-Sohle. Der Hauptzugang zum Kontrollbereich befindet sich im schachtnahen Bereich des Füllortes auf der -372 m-Sohle. Zur logistischen Vereinfachung gibt es einen zweiten Kontrollbereichsübergang auf der -372 m-Sohle am unteren Fußpunkt des Flachen 2.

Für den Personenübergang aus dem Kontrollbereich in den betrieblichen Bereich stehen im Schleusungsbereich Hand-Fuß-Kleider-Monitore (HFK) zur Kontaminationskontrolle zur Verfügung. Am Hauptzugang sind ein Raum zur Dekontamination mit Körperkontrollschrank sowie ein Betriebsraum mit Kontaminationsmessplatz für Wischtestproben vorhanden.

Personendosimetrie

Beim Aufenthalt im Kontrollbereich wird die äußere Strahlenexposition (Personendosis) bei beruflich strahlenexponierten Personen mit amtlichen Filmdosimetern ermittelt. Darüber hinaus werden betriebliche Personendosimeter vorgehalten, mit denen die Personendosis gemäß den Anforderungen nach § 41 Abs. 5 StrlSchV jederzeit festgestellt werden kann.

Die endgelagerten radioaktiven Abfälle führen nur noch zu geringen Ortsdosisleistungen, da sie überdeckt oder durch Mauern vom übrigen Grubengebäude abgetrennt sind. Offen stehende betriebliche radioaktive Abfälle und der Bereich der Konditionierungsanlage sind die einzigen Bereiche, an denen die Ortsdosisleistung einen Wert von 1 µSv/h überschreiten kann. Diese Bereiche werden mit geeichten Messgeräten überwacht.

Emissionsüberwachung

Eine Freisetzung luftgetragener radioaktiver Stoffe aus den überdeckten bzw. durch Mauern vom übrigen Grubengebäude getrennten radioaktiven Abfällen tritt in größerem Umfang nicht mehr auf (Kapitel 4.1). In den Unterwerksbauten des Südfeldes können zu Beginn des Stilllegungsbetriebes noch sehr geringe Mengen von flüssigen radioaktiven Abfällen und/oder Verdunstungsrückstände solcher Abfälle vorhanden sein, die allerdings kaum Beiträge zur Aktivität in den Abwettern liefern, da diese Grubenbaue nicht bewettert werden. Bei Sonderbewetterungen dieser Unterwerksbaue war in der Vergangenheit keine Erhöhung der Konzentration flüchtiger radioaktiver Stoffe in den Abwettern nachweisbar.

Den Abwetterströmen des ERAM werden übertägig an den Schächten Bartensleben und Marie sowie untertägig auf den Verbindungswegen zwischen den Grubenteilen Bartensleben und Marie kontinuierlich Teilströme entnommen und mit Messprogrammen auf der Grundlage der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI), Teil C.2, überwacht. Ferner werden die zur Bewertung der radiologischen Daten erforderlichen Parameter Wettergeschwindigkeit (Volumenstrom), relative Feuchte, Temperatur und Luftdruck kontinuierlich gemessen und aufgezeichnet.

Das Messprogramm entspricht zu Beginn des Stilllegungsbetriebes dem bisherigen Überwachungsprogramm im Offenhaltungsbetrieb und umfasst die

- kontinuierliche Messung der Aktivitätskonzentration von Rn-222 mittels Radonmonitor,
- kontinuierliche Anreicherung von Aerosolen auf Festfiltern zur späteren Auswertung mittels Gammaskopie sowie Messung der Gesamtaktivität von α - und β -Strahlern mit Bilanzierung,
- kontinuierliche Anreicherung von H-3 (HTO) und C-14 (CO₂) auf geeigneten Sammelmedien (Sorptionmittel oder Waschflaschen) zur späteren Auswertung (Abtrennung und Flüssigszintillationsanalyse) und Bilanzierung.

Mit dem o. g. Messprogramm kann die Ableitung radioaktiver Stoffe im bestimmungsgemäßen Stilllegungsbetrieb nach Art und Aktivität quantifiziert und damit der Nachweis der Einhaltung der zulässigen Werte erbracht werden. Weiterhin ist sichergestellt, dass Freisetzungen im Falle unerwünschter Ereignisabläufe erfasst werden. Im Fall von Freisetzungen werden die Aerosolsammler an den Emissionsmessstellen vorzeitig ausgewertet.

Die Emissionsmessungen werden mit Zustimmung der atomrechtlichen Aufsicht beendet, wenn das Erfordernis zur Abwetterüberwachung mit fortschreitender Verwahrung der Grubengebäude im Rahmen der Stilllegung entfällt. Die Einstellung der Emissionsüberwachung wird beantragt, wenn keine Ableitungen von H-3 und C-14 mehr feststellbar sind und gemäß REI Untersuchungen ergeben, dass auch ein

Entweichen von nicht resorbierbaren Gasen (HT und C-14 im Methan) nicht mehr nachweisbar ist.

Abwässer entstehen im Stilllegungsbetrieb durch die untertägige Waschwasserhaltung und die Prozesswasserhaltung (Spülwassersammlung). Die untertägig im Kontrollbereich anfallenden Abwässer aus der Handwäsche und Reinigung von Geräten und Anlagen werden in Behältern gesammelt, bei Erfordernis freigemessen, bilanziert und danach mit diesen Behältern nach über Tage gehoben und über die Schmutzwasserkanalisation entsorgt. Nicht freigemessene Abwässer werden als betrieblicher radioaktiver Abfall unter Tage entsorgt (Kapitel 3.4.1). Abwässer aus der Prozesswasserhaltung werden unter Tage gesammelt und zur Spülung der Rohrleitungen oder als Anmachwasser für Salzbeton verwendet. Eine Abwasserüberwachung ist hier nicht erforderlich.

Daneben fallen Grubenwässer durch die den Schächten Bartensleben und Marie zutretende Wässer an. Die Entsorgung dieser Wässer ist durch bestehende wasserrechtliche Genehmigungen geregelt, d. h. die Schachtwässer werden wie bisher nach über Tage gepumpt und über den Salzbach (Grube Bartensleben) bzw. die öffentliche Regenwasserkanalisation und den Salzwassergraben (Grube Marie) in die Aller eingeleitet. Die Kontaminationsfreiheit der abgegebenen Schachtwässer wird wie bisher durch regelmäßige Probennahmen und Messungen beweisend geprüft.

Immissionsüberwachung

Das auf der REI, Teil C.2, basierende Betreibermessprogramm zur Umgebungsüberwachung wird während der Stilllegung wie zur Zeit der Offenhaltung und in Kapitel 1.2.2 beschrieben fortgeführt. Die Überwachung des Oberflächenwassers kann gemäß REI, Teil C.2.3.3, entfallen, da in der Stilllegungsphase keine überwachungspflichtigen Radionuklide mit dem Abwasser in die Umgebung abgegeben werden.

Ein Störfalltrainingsprogramm zur Umgebungsüberwachung ist während der Stilllegung ebenfalls nicht mehr erforderlich (siehe Kapitel 5.3).

Die Messungen zur Umgebungsüberwachung werden ergänzt durch die Erfassung der Ausbreitungsverhältnisse und Ablagerungsbedingungen von radioaktiven Stoffen am Standort des ERAM. Hierzu wird die bestehende Wetterstation bis zum Abschluss der Emissionsüberwachung im gleichen Umfang wie zur Zeit des Offenhaltungsbetriebes weiter betrieben.

Die Umgebungsüberwachung wird gemäß den Anforderungen der REI bis zur Einstellung der Emissionsüberwachung fortgeführt.

3.6 SICHERUNGSMÄßNAHMEN

Über Tage sind keine radioaktiven Abfallgebäude vorhanden. Unter Tage befinden sich die radioaktiven Abfälle in den dafür vorgesehenen Einlagerungsgrubenbauen. Die radioaktiven Abfälle in den Einlagerungsgrubenbauen sind überdeckt oder durch Mauern vom übrigen Grubengebäude Bartensleben abgetrennt. Die im Rahmen der ordnungsgemäßen Betriebsführung getroffenen Sicherungsmaßnahmen werden während der Stilllegung jeweils abhängig von der Zugänglichkeit zu den Einlagerungsgrubenbauen den Erfordernissen angepasst.

Der für die Anlage erforderliche Schutz gegen Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter wird fortgesetzt und der Planfeststellungsbehörde aufgrund des vertraulichen Inhalts getrennt vom auszulegenden Plan vorgelegt.

Die dort beschriebenen Maßnahmen tragen den anlagenspezifischen Verhältnissen Rechnung und sind mit den für die öffentliche Sicherheit und Ordnung zuständigen Organen abgestimmt.

3.7 ABSCHLUSS DES BETRIEBES

Für den Abschluss des Bergbaubetriebes in den Gruben Bartensleben und Marie wird ein Abschlussbetriebsplan aufgestellt und bei der für die Bergaufsicht zuständigen Bergbehörde, dem Landesamt für Geologie und Bergwesen des Landes Sachsen-Anhalt, zur Zulassung eingereicht. Der Abschlussbetriebsplan enthält „eine genaue Aufstellung der technischen Durchführung und der Dauer der beabsichtigten Betriebseinstellung, den Nachweis, dass die ... Voraussetzungen erfüllt sind, und ... Angaben über eine Beseitigung der betrieblichen Anlagen und Einrichtungen oder über eine anderweitige Verwendung“ (§ 53 BBergG). Dem Abschlussbetriebsplan wird eine Betriebschronik gemäß § 53 Abs. 2 BBergG beigelegt.

Dieser Abschlussbetriebsplan bedarf hinsichtlich der vorgesehenen Arbeiten und beabsichtigten Maßnahmen der Zulassung des Landesamtes für Geologie und Bergwesen des Landes Sachsen-Anhalt. Eine Bestätigung über die Beendigung der Bergaufsicht erfolgt erst nach Durchführung einer Abschlussbefahrung. Die Abschlussbefahrung wird unter Leitung der für die Bergaufsicht zuständigen Behörde gemeinsam mit dem BfS als Unternehmer und unter Teilnahme des zuständigen Landkreises und der zuständigen Gemeinde(n) durchgeführt. Im Rahmen dieser Abschlussbefahrung wird geprüft, ob die Maßnahmen gemäß Abschlussbetriebsplan und Nebenbestimmungen der Zulassung durchgeführt worden sind. Insbesondere erfolgt die Prüfung dahingehend, ob die Folgenutzung im Rahmen der Wiedernutzbarmachung unter Berücksichtigung der öffentlichen Interessen vorbereitet bzw. erfolgt ist.

4 AUSWIRKUNGEN

4.1 RADIOLOGISCHE AUSWIRKUNGEN

In diesem Kapitel werden die radiologischen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt während der Umrüstung und Stilllegung des ERAM dargestellt und bewertet. Betrachtet werden dabei die Expositionspfade Direktstrahlung (hiermit ist, wie auch nachfolgend, immer die ionisierende Strahlung gemeint) sowie die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abluft und Abwasser einschließlich der Freisetzungen aus der Anlage bei Störfällen. Im Mittelpunkt der Betrachtungen steht die Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung der Anlage. Diese wird im Kapitel 4.1.1 quantitativ beschrieben. Die Bewertung der radiologischen Auswirkungen des Stilllegungsbetriebes auf andere Schutzgüter wird qualitativ dargestellt, da hierfür keine Grenzwerte existieren. Die Bewertung der radiologischen Auswirkungen orientiert sich daher an den derzeitigen Genehmigungswerten sowie der natürlichen Umgebungsstrahlung.

Die Beschreibung und Bewertung der radiologischen Auswirkungen in der Zeit nach der Stilllegung finden sich in Kapitel 5.4 (Langzeitsicherheit).

Direktstrahlung

Im übertägigen Bereich des ERAM werden sich die Ortsdosis und Ortsdosisleistung (ODL) zu Beginn der Stilllegung nicht wesentlich von der auch außerhalb der Anlage vorhandenen Grundbelastung (Kapitel 1.2.1) 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.

Unter Tage wird die Ortsdosisleistung zu Beginn der Stilllegung in der unmittelbaren Nähe der abgeschlossenen Einlagerungsgrubenbaue, in denen radioaktive Abfälle eingelagert sind, weniger als $1 \mu\text{Sv/h}$ betragen. Dies zeigen Messungen im Nord-, West- und Südfeld. Die Messergebnisse stimmen mit entsprechenden Berechnungen überein. Somit ist dieser Wert für den Stilllegungsbetrieb auch auf das Ostfeld, in dem die radioaktiven Abfallgebinde während des Offenhaltungsbetriebs mit Salzgrus überdeckt werden, übertragbar.

Über den Sohlenbohrlöchern des Untertage-Messfelds (UMF), in denen die Spezialcontainer mit Strahlenquellen zwischengelagert sind, liegt die gemessene Dosisleistung ebenfalls deutlich unter $1 \mu\text{Sv/h}$. Für Orte im Bereich der Konditionierungsanlage, an denen kurzzeitige Arbeiten in Fassnähe durchgeführt werden, ist mit einem Wert von maximal $70 \mu\text{Sv/h}$ zu rechnen.

In allen übrigen begehbaren Bereichen des Grubengebäudes liegt die Ortsdosisleistung auf dem Niveau des natürlichen Untergrundpegels in Höhe von ca. 0,1 $\mu\text{Sv/h}$, der vor allem durch den K-40-Gehalt des Salzgesteins bestimmt wird. 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

Während des Stilllegungsbetriebes werden, wie gegenwärtig auch, flüchtige Verbindungen der radioaktiven Stoffe H-3 und C-14 sowie Rn-222 und seine radioaktiven Folgeprodukte mit den Abwettern abgeleitet. In der Stilllegungsphase gelangen diese flüchtigen radioaktiven Stoffe jedoch aufgrund der vorlaufend durchgeführten Maßnahmen „Versetzen der Resthohlräume in den Einlagerungsgrubenbauen“ und „Abschluss der befüllten Einlagerungsgrubenbaue durch Mauern und Verschlüsse“ nur noch in geringen Mengen und verzögert aus den radioaktiven Abfällen in das bewettern Grubengebäude. Die Einhaltung der betrieblichen Grenzwerte für die Aktivitätskonzentration der Radionuklide in den Grubenwettern wird überwacht.

Für die Freisetzung flüchtiger radioaktiver Stoffe in das bewettern Grubengebäude werden folgende ursächliche Mechanismen betrachtet:

- Gasbildung,
- atmosphärisch und betrieblich bedingte Luftdruckschwankungen,
- Konvergenz der Einlagerungsgrubenbaue,
- Mobilisierung von Oberflächenkontaminationen durch die Bewetterung und
- radioaktiver Zerfall von Ra-226.

Zur Gasbildung kann es infolge von mikrobieller Zersetzung, Korrosion und Radiolyse kommen. Die Gasbildung aufgrund mikrobieller Zersetzung tritt in Bereichen auf, in denen organische Abfälle gelagert sind. Messungen der Gaskonzentration haben gezeigt, dass das dabei entstehende CO_2 in den Einlagerungsgrubenbauen nicht mehr als 3,3 Vol.-% beträgt. Auch durch Korrosion unter Sauerstoffmangel (anaerobe Korrosion) kann es zur Gasbildung kommen. Der dabei entstehende Wasserstoff wurde in den Einlagerungsgrubenbauen in Spuren von bis zu 0,08 Vol.-% gemessen. Die Gasbildung durch Radiolyse ist aufgrund der Aktivitätsbegrenzungen für die Abfälle in den Einlagerungsgrubenbauen vernachlässigbar gering. Durch die Gasbildung werden Teilmengen der in den Abfällen enthaltenen Radionuklide C-14 und H-3 mobilisiert.

Zu Beginn der Stilllegung sind die gemäß Dauerbetriebsgenehmigung errichteten Abmauerungen der Einlagerungsgrubenbaue zwar wettertechnisch dicht, jedoch nicht gasdicht. Atmosphärisch und betrieblich bedingte Luftdruckschwankungen

können daher zur Freisetzung geringer Mengen flüchtiger radioaktiver Stoffe aus Einlagerungsgrubenbauen in die Grubenwetter führen.

Die Konvergenzraten im Endlager sind so gering, dass der hieraus resultierende Antrieb für die Freisetzung flüchtiger radioaktiver Stoffe aus den Einlagerungsgrubenbauen ohne Belang ist (Tab. 5.4-1).

Die betriebliche Strahlenschutzordnung enthält Regelungen, um Kontaminationen im Kontrollbereich festzustellen, den Schutz der darin tätigen Personen sicherzustellen und eine Weiterverbreitung radioaktiver Stoffe zu verhindern. Damit ist Vorsorge getroffen, dass eine mögliche Mobilisierung nicht festhaftender Aktivität auf Oberflächen kontaminierter Wetterwege, Anlagenteilen, Geräten oder betrieblichen radioaktiven Abfälle nur in sehr geringem Umfang zum Aktivitätsfluss beitragen kann.

Durch den radioaktiven Zerfall von Ra-226 in den Abfällen entsteht das Edelgas Rn-222 mit einer Halbwertszeit von 3,8 Tagen, das aus den Abfallgebänden in die Grubenwetter gelangen kann. Im Vergleich zur Einlagerungsphase ist die im Bereich der Einlagerungsgrubenbaue in den Grubenwettern gemessene Rn-222 Aktivitätskonzentration deutlich zurückgegangen, da das in den Abfällen entstehende Rn-222 aufgrund der langen Durchströmungszeit durch die Abfallgebände und das Versatzmaterial bzw. die Abmauerungen größtenteils zerfällt und die Zerfallsprodukte wirksam zurück gehalten werden.

Darüber hinaus wird Rn-222 aus den Versatz- und Baumaterialien (Braunkohlenfilterasche, Beton und Ziegel) sowie aus geogenen Quellen (insbesondere Salztone) in die Grubenatmosphäre freigesetzt, da diese Materialien Radionuklide der natürlichen Uran-Radium-Zerfallsreihe enthalten.

Die Aktivitätskonzentration des Rn-222 in den Wettern beträgt gegenwärtig im Mittel 50 Bq/m^3 . Für die Stilllegungsphase ist eine vergleichbare Aktivitätskonzentration anzunehmen. Dieser Wert entspricht dem in Deutschland ermittelten Mittelwert der Aktivitätskonzentration von Rn-222 in Wohnräumen.

Durch den radioaktiven Zerfall des Rn-222 entstehen die kurzlebigen Radonfolgeprodukte und die langlebigen Zerfallsprodukte Pb-210 und Po-210. Die Aktivitätskonzentration der Radonfolgeprodukte in den Abwettern hängt von der mittleren Verweilzeit sowie dem Feuchte- und Staubgehalt der Grubenwetter ab. Auf der Grundlage von Messwerten und eines Transportmodells wurde für den Stilllegungsbetrieb eine mittlere Verweilzeit der Grubenwetter von einem Tag und die daraus folgende Aktivitätskonzentration der Radonfolgeprodukte ermittelt. Die Radonfolgeprodukte werden mit den Abwettern als Aerosole abgeleitet.

Ein Teil des Rn-222 und seiner Folgeprodukte in den Grubenwettern wird bereits mit den Frischwettern eingezogen, weil diese Radionuklide auch in der Umgebungsluft vorhanden sind. Dieser Anteil wird bei der Bilanzierung der erwarteten Ableitung von Rn-222 und seiner Folgeprodukte nicht berücksichtigt.

Die Maximalwerte für die zulässigen Ableitungen flüchtiger radioaktiver Stoffe mit den Abwettern aus dem Grubengebäude Bartensleben über Schacht Bartensleben und Schacht Marie sind in Tab. 4.1-2, Spalte 2 und Tab. 4.1-3, Spalte 2 dargestellt.

Zur Absicherung, dass diese Maximalwerte der Aktivitätsableitung für die gesamte Zeit des Stilllegungsbetriebs nicht überschritten werden, wurde die Radionuklidfreisetzung aus den Einlagerungsgrubenbauen auch rechnerisch überprüft. Dabei wurde berechnet, wieviel Aktivität pro Zeiteinheit mit der Gasströmung durch die Versatzporen und Abmauerungen in das offene Grubengebäude transportiert wird, nachdem sich in dem Porenvolumen eine Gleichgewichtskonzentration der aus den Abfällen freigesetzten flüchtigen Radionuklide eingestellt hat. Durch betriebsbegleitend durchgeführte Messungen wird die Aktivitätskonzentration in den Grubenwettern überwacht. Die Unterschreitung der Werte ist durch die Regelungen in der betrieblichen Strahlenschutzordnung sichergestellt.

Die obigen Betrachtungen gelten für den Normalbetrieb. Daneben sind auch anomale Betriebszustände im Rahmen des bestimmungsgemäßen Betriebes hinsichtlich der Aktivitätsfreisetzung und Ableitung radioaktiver Stoffe zu betrachten.

Unterstellt wird diesbezüglich der Ausfall der Bewetterung und der Stromversorgung. Ausfälle dieser Systeme im übertägigen Betriebsbereich, im Bereich der Schachtförderanlage und in den untertägigen Betriebsbereichen führen nicht zu zusätzlichen Freisetzungen oder Ableitungen radioaktiver Stoffe.

Bei einem Ausfall des Hauptgrubenlüfters erhöhen sich die Aktivitätskonzentrationen in den Tätigkeitsbereichen. Die in Tab. 5.2-1 dargestellten maximalen Aktivitätskonzentrationen in den Tätigkeitsbereichen sind auch bei einer unterstellten Ausfallzeit von einem Tag abdeckend für die Bestimmung der Strahlenexposition des Personals. Die in Tab. 4.1-2 und Tab. 4.1-3 angegebenen zulässigen Maximalwerte für die Jahresableitung flüchtiger radioaktiver Stoffe mit dem Abwetterstrom werden bei einem zeitlich begrenzten 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.

Aktivität in Wässern

Auch im Stilllegungsbetrieb können zum Beispiel bei Dekontaminationsarbeiten noch gering radioaktiv kontaminierte Wässer anfallen, deren Radionuklidgehalt durch Probennahme und Messungen bestimmt wird. In Abhängigkeit von dem Messergebnis werden die Wässer entweder betriebsintern unter Tage verwendet oder

nach einer Konditionierung als betrieblicher Abfall im ERAM endgelagert bzw. extern entsorgt (Kapitel 3.5).

Eine Ableitung radioaktiv kontaminierter Wässer aus dem Kontrollbereich über den Abwasserpfad wird im Stilllegungsbetrieb nicht praktiziert.

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.

4.1.1 Strahlenexposition in der Umgebung

Die Ableitung radioaktiver Stoffe aus dem ERAM in die Umgebung ist so zu begrenzen, dass die Grenzwerte der StrlSchV für den Schutz von Einzelpersonen der Bevölkerung eingehalten werden. Darüber hinaus besteht die Verpflichtung, jede Strahlenexposition auch unterhalb der Grenzwerte unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalls so gering wie möglich zu halten.

In diesem Kapitel wird dargestellt, wie die potenzielle Strahlenexposition der Bevölkerung durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern aus dem ERAM ermittelt wurde. Die Ergebnisse werden bewertet.

Die Berechnung der potenziellen Strahlenexposition der Bevölkerung erfolgte gemäß der Anlage VII der StrlSchV und der AVV zu § 47 StrlSchV. Da für den Standort Marie keine ortsspezifischen meteorologischen Messungen vorliegen, wurden die am Standort Bartensleben gemessenen Daten mit Modellrechnungen unter Berücksichtigung der topographischen Strukturierung des Geländes auf den etwa 1,7 km entfernten Standort Marie übertragen. Die Häufigkeitsverteilung der gemessenen Windrichtung für den Standort Bartensleben und die Häufigkeitsverteilung der daraus berechneten Windrichtung am Standort Marie sind für den Zeitraum 1995 bis 2000 in Abb. 4.1-1 und Abb. 4.1-2 dargestellt. Aus den Abbildungen wird deutlich, dass die Windrichtungsverteilungen Unterschiede aufweisen. Aufgrund des bei der Schachtanlage Marie offensichtlich größeren Einflusses eines Seitentals ist die Haupt-

windrichtung (West-südwest) stärker kanalisiert und etwas nach Süden gedreht. Die Nebenwindrichtung in der Talachse (Südost) ist schwächer ausgeprägt.

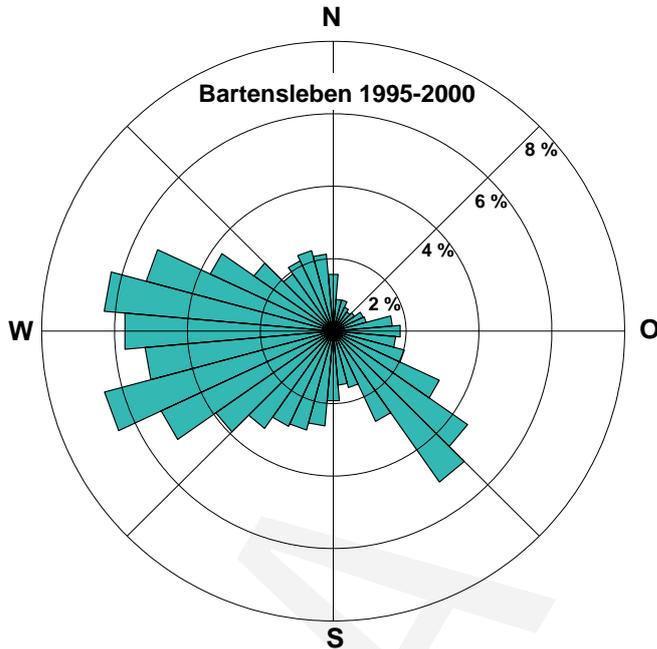


Abb. 4.1-1: Windrichtungsverteilung für die Schachtanlage Bartensleben (relative Häufigkeit der Windrichtung in % bezogen auf 10-Grad-Sektoren) für den Zeitraum Februar 1995 bis Dezember 2000.

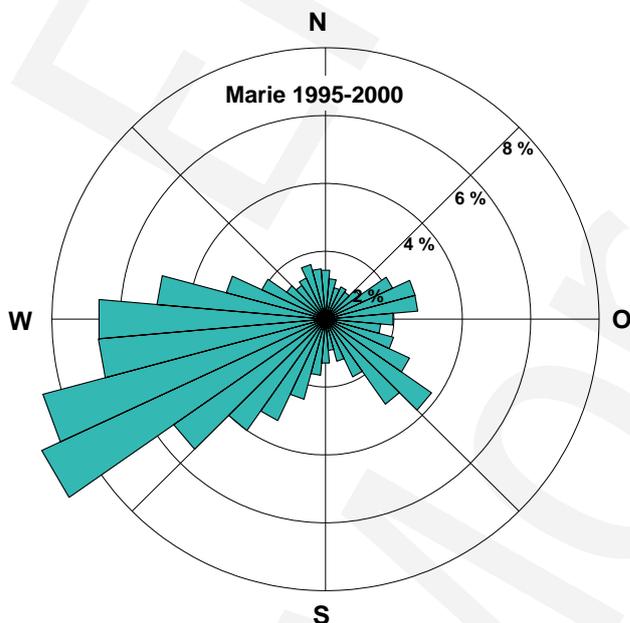


Abb. 4.1-2: Windrichtungsverteilung für die Schachtanlage Marie (relative Häufigkeit der Windrichtung in % bezogen auf 10-Grad-Sektoren) für den Zeitraum Februar 1995 bis Dezember 2000.

Da die Auswertungen der meteorologischen Daten der Jahre 2001 bis 2004 nur unwesentliche Abweichungen in den statistischen Verteilungen von Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Niederschlag und Diffusionskoeffizienten zeigen, wurde das Übertragungsverfahren nicht mit den aktuellen Daten wiederholt.

Zunächst wurden unter Berücksichtigung der meteorologischen Messdaten der Wetterstation Morsleben für die Jahre 1995 bis 2000 zweidimensionale Verteilungen der Langzeit-Ausbreitungs- und Ablagerungsfaktoren für das ganze Jahr und das Sommerhalbjahr berechnet. In den Ausbreitungsrechnungen wurden die über die Schächte Bartensleben und Marie abgegebenen Wettermengen, die effektiven Emissionshöhen, die thermische und mechanische Kaminüberhöhung, Gebäudeeinflüsse sowie die orographischen Besonderheiten der Standorte berücksichtigt. Der Langzeit-Ausbreitungsfaktor für Gammasubmersion wurde nach dem vereinfachten Verfahren der AVV zu § 47 StrlSchV gewonnen.

Mit den jeweils maximalen Langzeit-Ausbreitungs- und Ablagerungsfaktoren wurden radioökologische Berechnungen durchgeführt und die Orte der ungünstigsten Einwirkungsstellen (Aufenthaltsort und Erzeugungsort) bestimmt. Die geographische Lage der „ungünstigsten Einwirkungsstellen“ kennzeichnet die Stellen in der Umgebung der Schächte Bartensleben und Marie, an denen die höchsten Dosisbeiträge für Referenzpersonen der Bevölkerung unter Berücksichtigung von Überlagerungseffekten durch den jeweils anderen Emittenten berechnet wurden.

Die potenzielle Strahlenexposition der Bevölkerung ergibt sich gemäß AVV zu § 47 StrlSchV aus der Summe der Strahlenexpositionen an zwei – möglicherweise unterschiedlichen – Einwirkungsorten:

- Aufenthaltsort: β - und γ -Submersion, γ -Bodenstrahlung und Inhalation,
- Erzeugungsort: Verzehr von Lebensmitteln.

Die potenzielle Strahlenexposition wurde über folgende Expositionspfade ermittelt:

- Äußere Strahlenexposition durch β - und γ -Strahlung aus der Abluffahne,
- Äußere Strahlenexposition durch γ -Strahlung über kontaminiertem Boden,
- Inhalation von Radionukliden aus der bodennahen Luft,
- Ingestion von Radionukliden in Blattgemüse und pflanzlichen Produkten,
- Ingestion von Radionukliden in Fleisch, Wurst, Milch und Milchprodukten,
- Ingestion von Radionukliden in Muttermilch oder Milchfertigprodukten.

Bei der Berechnung der Belastung der Muttermilch wurden bei der Mutter die Inhalation und die Ingestion von Radionukliden betrachtet.

Die Orte der ungünstigsten Einwirkungsstellen sind mit den Werten für die Ausbreitungs-, Fallout- und Washout-Faktoren in Tab. 4.1-1 dargestellt.

Tab. 4.1-1: Orte der ungünstigsten Einwirkungsstellen für Schacht Bartensleben und Schacht Marie mit den Werten für die Ausbreitungs-, Fallout- und Washout-Faktoren. Dabei ist CHI der entfernungsabhängige Langzeit-Ausbreitungsfaktor, F der Langzeit-Falloutfaktor, W der Langzeit-Washoutfaktor und CHI_{Gamma} der Langzeit-Ausbreitungsfaktor für die Gamma-Submersion.

	Schacht Bartensleben	Schacht Marie
Ungünstigste Einwirkungsstelle für den Aufenthaltsort	255 m Ost (95°)	190 m Ost/Nordost (70°)
$CHI_{\text{ganzes Jahr}}$ in s/m^3	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$3,0 \cdot 10^{-6}$
$F_{\text{ganzes Jahr}}$ in m^{-2}	$2,9 \cdot 10^{-9}$	$4,5 \cdot 10^{-9}$
$W_{\text{ganzes Jahr}}$ in m^{-2}	$1,6 \cdot 10^{-9}$	$2,5 \cdot 10^{-9}$
CHI_{Gamma} in s/m^2	$8,0 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$
Ungünstigste Einwirkungsstelle für den Erzeugungsort	255 m Ost (95°)	150 m Nordost (75°)
$CHI_{\text{ganzes Jahr}}$ in s/m^3	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$2,7 \cdot 10^{-6}$
CHI_{Sommer} in s/m^3	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$3,9 \cdot 10^{-6}$
$F_{\text{ganzes Jahr}}$ in m^{-2}	$2,9 \cdot 10^{-9}$	$4,0 \cdot 10^{-9}$
F_{Sommer} in m^{-2}	$3,5 \cdot 10^{-9}$	$5,8 \cdot 10^{-9}$
$W_{\text{ganzes Jahr}}$ in m^{-2}	$1,6 \cdot 10^{-9}$	$3,4 \cdot 10^{-9}$
W_{Sommer} in m^{-2}	$1,7 \cdot 10^{-9}$	$3,8 \cdot 10^{-9}$

In Tab. 4.1-2 und Tab. 4.1-3 sind die für das ERAM zulässigen Jahresableitungen flüchtiger radioaktiver Stoffe mit den Abwettern aus dem Grubengebäude Bartensleben über Schacht Bartensleben und Schacht Marie und die gemäß AVV zu § 47 StrlSchV berechneten potenziellen effektiven Dosen dargestellt. In der 4. Spalte der Tabellen ist angegeben, für welche Altersgruppe die höchste Dosis errechnet wurde.

Für die Berechnung der Strahlenexposition wurde angenommen, dass H-3 als Bestandteil des HTO und C-14 als Bestandteil des CO_2 abgeleitet werden. Die Auswertung der langjährigen Emissionsüberwachung zeigte, dass als „langlebige Aerosole“ in den Abwettern fast ausschließlich Beiträge der Radionuklide Pb-210 und Po-210 gemessen werden. Beide Radionuklide sind Zerfallsprodukte des Rn-222, die nicht in den Angaben zu Rn-222 (EEC, siehe auch Erläuterungen zur Tab. 4.1-2) erfasst werden. Für die Dosisermittlung wurde daher für die Ableitung der Radionuklide Pb-210 und Po-210 der Wert für die zulässige Jahresableitung der Summe langlebiger Aerosole angesetzt. Die Beiträge anderer aerosolförmiger Radionuklide zur Jahresableitung und zur potenziellen Strahlenexposition sind mehrere Größenordnungen geringer und werden daher nicht explizit aufgelistet. Die getroffenen Annahmen führen insgesamt zu einer Überschätzung der Dosiswerte.

Tab. 4.1-2: Zulässige Ableitung flüchtiger radioaktiver Stoffe mit den Abwettern über Schacht Bartensleben und resultierende potenzielle Strahlenexposition in der Umgebung während des Stilllegungsbetriebs.

Radionuklid	Zulässige Jahresableitung in Bq/a	Effektive Dosis in $\mu\text{Sv/a}$ und Altersgruppe der Referenzperson	
		Dosis	Altersgruppe
H-3 ¹⁾	$2,5 \cdot 10^{11}$	< 1	1-2 a
C-14 ²⁾	$1,5 \cdot 10^{10}$	< 2	1-2 a
Rn-222 (EEC) ³⁾	$6,0 \cdot 10^{10}$	< 1	$\leq 1 \text{ a}^{5)}$
Summe langlebiger Aerosole ($T_{1/2} > 1\text{d}$)	$1,5 \cdot 10^7$	< 16 ⁴⁾	$\leq 1 \text{ a}^{5)}$
Gesamtdosis:		17	$\leq 1 \text{ a}^{5)}$

1) als HTO angenommen

2) als CO₂ angenommen

3) Gleichgewichtsäquivalentes Rn-222 (Aktivitätskonzentration der kurzlebigen Rn-222-Folgeprodukte)

4) Dosis durch Pb-210 und Po-210

5) Muttermilchpfad

Tab. 4.1-3: Zulässige Ableitung flüchtiger radioaktiver Stoffe mit den Abwettern über Schacht Marie und resultierende potenzielle Strahlenexposition in der Umgebung während des Stilllegungsbetriebs.

Radionuklid	Zulässige Jahresableitung in Bq/a	Effektive Dosis in $\mu\text{Sv/a}$ und Altersgruppe der Referenzperson	
		Dosis	Altersgruppe
H-3 ¹⁾	$2,5 \cdot 10^{11}$	< 1	1-2 a
C-14 ²⁾	$1,5 \cdot 10^{10}$	< 3	1-2 a
Rn-222 (EEC) ³⁾	$6,0 \cdot 10^{10}$	< 1	$\leq 1 \text{ a}$
Summe langlebiger Aerosole ($T_{1/2} > 1\text{d}$)	$1,5 \cdot 10^7$	< 26 ⁴⁾	$\leq 1 \text{ a}^{5)}$
Gesamtdosis:		28	$\leq 1 \text{ a}^{5)}$

1) als HTO angenommen

2) als CO₂ angenommen

3) Gleichgewichtsäquivalentes Rn-222 (Aktivitätskonzentration der kurzlebigen Rn-222-Zerfallsprodukte)

4) Dosis durch Pb-210 und Po-210

5) Muttermilchpfad

Gemäß § 47 Abs. 5 StrlSchV sind zu den potenziellen Strahlenexpositionen infolge Ableitungen radioaktiver Stoffe des ERAM die gegenseitigen Beeinflussungen der Ableitungen aus Schacht Bartensleben und Schacht Marie zu berücksichtigen.

Die Emissionsquellen Schacht Bartensleben und Schacht Marie liegen ca. 1,7 km (Luftlinie) voneinander entfernt. Von Schacht Marie aus liegt Schacht Bartensleben in der Richtung 160° (Südsüdost). Entsprechend liegt Schacht Marie aus Sicht des Schachtes Bartensleben in der Richtung 340° (Nordnordwest).

Die Überlagerung der Emissionen von Schacht Marie führt an der ungünstigsten Einwirkungsstelle von Schacht Bartensleben zur Erhöhung der potenziellen Strahlenexposition um weniger als 5 % sowohl bei der effektiven Dosis wie auch bei der Organdosis für das kritische Organ rotes Knochenmark. Die Expositionsanteile aus der Überlagerung sind in den angegebenen Dosen enthalten.

Die Überlagerung der Emissionen von Schacht Bartensleben am Standort Marie ergibt einen Beitrag gegenüber dem Eigenanteil aus Schacht Marie von weniger als 4 %.

Die Höhe der Strahlenexposition wird vor allem durch die Ingestionspfade bestimmt, während Inhalation und äußere Bestrahlung einen deutlich geringeren Beitrag zur Dosis liefern. Die wichtigsten Radionuklide für die potenzielle Strahlenexposition durch die Ableitung aus Schacht Bartensleben und aus Schacht Marie sind Pb-210 und dessen Folgeprodukt Po-210 sowie C-14. Der Anteil des Radionuklids Po-210 an der effektiven Dosis beträgt für die Referenzperson der am höchsten belasteten Altersgruppe der Säuglinge weniger als 70 %. Dieses gilt sowohl für den Standort Bartensleben als auch für den Standort Marie.

Zusätzlich zur effektiven Dosis wurden gemäß § 47 StrlSchV für Referenzpersonen aller Altersgruppen organ- und gewebespezifische Dosen berechnet. Der größte Organdosiswert in Relation zum Grenzwert wurde für alle Altersgruppen für das rote Knochenmark ermittelt, nur für jugendliche Referenzpersonen ist die Knochenoberfläche das am stärksten belastete Organ.

In der Umgebung von Schacht Bartensleben betragen die berechneten effektiven Dosen für die am höchsten belastete Referenzperson 18 $\mu\text{Sv/a}$ und in der Umgebung von Schacht Marie 30 $\mu\text{Sv/a}$. Der Grenzwert des § 47 StrlSchV von 300 $\mu\text{Sv/a}$ wird damit sicher eingehalten. Die Organdosis für das am höchsten belastete Organ rotes Knochenmark beträgt für alle Radionuklide in der Summe 53 $\mu\text{Sv/a}$ (Bartensleben) bzw. 91 $\mu\text{Sv/a}$ (Marie). Der Grenzwert von 300 $\mu\text{Sv/a}$ wird damit ebenfalls sicher eingehalten.

Die betriebsbegleitend durchgeführten Maßnahmen „Versetzen der Resthohlräume in den Einlagerungsgrubenbauen“ und/oder „Abschluss der befüllten Einlagerungsgrubenbaue durch Mauern und Verschlüsse“ haben zur Verringerung der Ableitungen geführt. Damit ist dem Gebot zur Minimierung von Strahlenexpositionen entsprochen.

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.

Auswirkungen auf die Schutzgüter der Umwelt

Für die Bewertung der Auswirkungen ionisierender Strahlung auf die Umwelt gibt es, anders als bei konventionellen Schadstoffen, bislang weder in Deutschland noch in anderen Ländern geeignete Kriterien. Dies ist u. a. darin begründet, dass beim Strahlenschutz der Mensch im Zentrum der Vorsorge steht und die Betrachtung der Umwelt bislang ausschließlich unter dem Gesichtspunkt des Schutzes der natürlichen Lebensgrundlagen des Menschen erfolgt. Erst in jüngster Zeit werden Versuche unternommen, auch Tiere und Pflanzen in das System des Strahlenschutzes einzubinden.

Konsens ist gegenwärtig, dass bei Einhaltung der Grenzwerte der §§ 46 und 47 StrlSchV auch langfristig keine nachteiligen Auswirkungen infolge Direktstrahlung und Ableitung radioaktiver Stoffe auf Pflanzen und Tiere zu besorgen sind. Das ergibt sich aus Berechnungen und Untersuchungen der IAEA (Internationale Atomenergie-Organisation) von 1992 und von UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) von 1996. Sie zeigen, dass für den Fall einer Strahlenexposition des Menschen von 1 mSv/a, welche dem Grenzwert des § 46 StrlSchV entspricht, unter ungünstigen Umständen zwar höhere Dosen als 1 mGy/a für Tiere und Pflanzen auftreten können, jedoch keine, die über 1 mGy/d hinausgehen (für Pflanzen und Tiere kann nur die Energiedosis herangezogen werden, weil die Angabe einer Äquivalentdosis für die einzelnen Arten nicht möglich ist). In terrestrischen Ökosystemen sind aber unterhalb von 1 mGy/d bzw. in aquatischen Ökosystemen unterhalb von 10 mGy/d auch bei langfristigen Expositionen für pflanzliche und tierische Arten keine nachteiligen Änderungen zu erwarten.

Schädliche Veränderungen des Bodens im Sinne des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG) können bei einer Begrenzung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser auf die in § 47 StrlSchV geforderten Werte ebenfalls ausgeschlossen werden. Nachteilige Einwirkungen auf den Boden sind im Zusammenhang mit dem Umrüst- und Stilllegungsbetrieb des ERAM daher nicht zu besorgen.

Einwirkungen auf Gewässer in Verbindung mit einer schädlichen Verunreinigung des Wassers oder einer sonstigen nachteiligen Veränderung seiner Eigenschaften im Sinne des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) sind in Verbindung mit dem Umrüst- und Stilllegungsbetrieb des ERAM nicht zu besorgen, da bei der Stilllegung keine radioaktiven Stoffe in Gewässer eingeleitet werden und der Eintrag in Gewässer durch Ableitungen über den Luftpfad so gering ist, dass dieser vernachlässigbar ist.

Nachteilige Verunreinigungen des Schutzgutes Luft sind durch den Umrüst- und Stilllegungsbetrieb des ERAM und die dabei weiterhin erforderliche kontrollierte

Ableitung radioaktiver Stoffen über den Luftpfad ebenfalls nicht zu besorgen, da die Ableitung nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen überwacht wird und die Einhaltung der festgelegten Grenzwerte gewährleistet ist.

Die bei UVP-pflichtigen Vorhaben weiterhin zu beachtenden Schutzgüter Klima, Landschaft sowie Kultur- und sonstige Sachgüter werden von den radiologischen Auswirkungen des Stilllegungsbetriebes aufgrund der geringen Immissionen nicht beeinflusst.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die radiologischen Auswirkungen des Stilllegungsbetriebes aufgrund der Unterschreitung geltender Dosisgrenzwerte (§§ 46 und 47 StrlSchV) für alle Schutzgüter gering sind. Mit fortschreitender Verfüllung werden die Ableitungen und damit die Umweltauswirkungen sukzessive verringert und bis zum Ende der Stilllegung auf Null reduziert.

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

4.1.2 Sonstige radiologische Auswirkungen

Betriebliche radioaktive Abfälle

Die Aktivität der betrieblichen radioaktiven Abfälle ist gemäß Kapitel 3.4.1 gering. Ein sehr kleiner Anteil davon wird gegebenenfalls 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 (siehe Kapitel 2.1.4). Insgesamt wird es durch den Umgang mit betrieblichen radioaktiven Stoffen unter Tage keine relevanten Auswirkungen geben.

Störfälle

Mögliche Störfälle werden im Kapitel 5.3 bewertet. Davon wird ein Großteil vermieden und damit der Störfallklasse 2 zugeordnet. Als radiologisch abdeckender Störfall der Störfallklasse 1 wird der Brand eines Fahrzeugs mit thermischer Beaufschlagung betrieblicher radioaktiver Abfälle betrachtet. Der hierbei ermittelte Wert für die potenzielle Strahlenexposition der am höchsten belasteten

Referenzperson ist dabei um drei Größenordnungen (Faktor 1.000) geringer als die Störfallplanungswerte des § 49 Abs.1 StrlSchV. Aufgrund der hiermit nachgewiesenen sicheren Unterschreitung der Störfallplanungswerte sind die potenziellen radiologischen Auswirkungen bei möglichen Störfällen im Stilllegungsbetrieb als gering zu bewerten.

4.2 KONVENTIONELLE AUSWIRKUNGEN

Die in den nachfolgenden Kapiteln beschriebenen Emissionen und Reststoffe fallen während der Stilllegung an. Die dargestellten Emissionen und Reststoffe werden auch in der UVS berücksichtigt. In der UVS sind die möglichen Emissionspfade verfolgt und die Auswirkungen auf die Schutzgüter (Menschen, einschließlich der menschlichen Gesundheit, Tiere, Pflanzen und die biologische Vielfalt, Boden, Wasser, Luft, Klima und Landschaft, Kulturgüter und sonstige Sachgüter) sowie deren Wechselbeziehungen bewertet worden.

4.2.1 Ableitungen über den Luftpfad

Art und Menge

Im Rahmen der Umrüstung auf den Stilllegungsbetrieb werden Förderanlagen für Versatzmaterial, Rohrleitungen und Verkehrsflächen errichtet bzw. angelegt. Im Zusammenhang mit dieser Bautätigkeit können kurzzeitige Staubemissionen entstehen.

Die folgenden Ableitungen treten bis zum Ende der Stilllegung auf:

Auf der Schachanlage Bartensleben wird eine Wärmeversorgungsanlage mit einer Gesamtnennwärmeleistung von 3.480 kW betrieben, die zur Deckung des erhöhten Wärmebedarfs (Schachtwetterheizung) um 500 kW erweitert wird. Als Brennstoff wird leichtes schwefelarmes Heizöl verwendet. Der Schornstein, über den die Abgase abgeleitet werden, hat eine Höhe von 18 m.

Auf der Schachanlage Marie wird eine Wärmeversorgungsanlage mit einer Nennwärmeleistung von 320 kW betrieben. Als Brennstoff wird Gas verwendet.

Gemäß der 4. BImSchV gelten Wärmeerzeugungsanlagen bei Einsatz von Heizöl unter 20 MW Feuerungswärmeleistung als sogenannte kleine und mittlere Feuerungsanlagen und sind genehmigungsfrei nach BImSchG. Für die Errichtung und den Betrieb dieser Anlagen gelten die Bestimmungen der 1. BImSchV. Nach

dieser Verordnung sind bei Einsatz von Öl- und Gasfeuerungsanlagen unterhalb einer Feuerungswärmeleistung von 10 MW keine spezifischen Emissionsgrenzwerte für einzelne Schadstoffe einzuhalten. Die Begrenzung der Schadstoffemissionen geschieht direkt über feuerungstechnische und konstruktive Maßnahmen nach dem Stand der Technik und indirekt über die Begrenzung des Schwefelgehaltes des Brennstoffs Heizöl.

Unter Tage werden Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren eingesetzt, die insgesamt eine Antriebsleistung von ca. 2.000 kW haben und mit Dieselmotoren betrieben werden. Die Abgase werden mit den Abwettern ins Freie geleitet.

Die Bewetterung der Grubengebäude Bartensleben und Marie erfolgt zu Beginn der Stilllegung mit einer über den Schacht Bartensleben einziehenden Gesamtwettermenge von bis zu 5.500 m³/min. Der Massenstrom salzhaltiger Stäube in den entsprechenden Abwettern beträgt 1,65 kg/h bei einer maximalen Konzentration von 5 mg/m³.

Zu Beginn der Stilllegung werden von der gesamten über den Schacht Bartensleben einziehenden Wettermenge (max. 5.500 m³/min) etwa 700 m³/min luttengeführt als Abwetter am Förderturm der Schachtanlage Bartensleben in ca. 44 m Höhe und maximal ca. 4.800 m³/min als Abwetter über den Schacht Marie geführt. Der Wettermengenbedarf variiert entsprechend den Stilllegungsarbeiten und dem –fortschritt.

Nach wettertechnischer Trennung der Schachtanlagen Marie und Bartensleben ziehen max. 1.200 m³/min Frischwetter über den Schacht Bartensleben ein und werden als Abwetter luttengeführt aus dem Schacht Bartensleben abgeleitet. Über den Schacht Marie werden nach wettertechnischer Trennung luttengeführt bis zu 800 m³/min Frischwetter zugeführt und als Abwetter aus dem Schacht Marie abgeführt.

Gemäß § 4 Abs. 2 BImSchG bedürfen untertägige Anlagen des Bergwesens oder Teile dieser Anlagen sowie die zur Wetterführung unerlässlichen Anlagen keiner Genehmigung nach § 4 Abs. 1 BImSchG.

Besondere Schutzmaßnahmen sind nicht erforderlich.

Auswirkungen auf die Umwelt

Bezüglich der von einer Anlage ausgehenden Emissionen, z. B. Luftverunreinigungen, enthalten das BImSchG sowie die dazu ergangenen Verordnungen und allgemeinen Verwaltungsvorschriften Regelungen. Soweit diese nicht direkt anwendbar sind, gilt § 22 BImSchG.

Die Emissionen aus dem Betrieb der Abwetteranlagen und der Wärmeversorgungsanlagen führen (rechnerisch) am jeweiligen ungünstigsten der vorgegebenen Immissionspunkte zu Immissionen, die die in der TA Luft festgelegten Werte deutlich unterschreiten (Tab. 4.2-1 und Tab. 4.2-2).

Auch in der Summe der durch beide Schachtanlagen emittierten Luftschadstoffe und Staub werden die Immissionswerte der TA Luft eingehalten.

Mit dem Verschluss der Schächte werden keine Schadstoffe mehr über die Abwetteranlage abgegeben.

Tab. 4.2-1: Berechnete maximale Immissionswerte für Luftschadstoffe und Staub aus den betrieblichen Emissionen der Schachtanlage Bartensleben (nur kerntechnische Anlage) im Vergleich zu den Immissionswerten nach TA Luft.

	Berechneter Immissionswert	Immissionswert nach TA Luft	Mittelungszeitraum nach TA Luft
Schwebstaub (PM 10)*	3,1 µg/m ³ 10,5 µg/m ³	40 µg/m ³ 50 µg/m ³	Jahr 24 Stunden
Staubniederschlag	0,0107 g/m ² d (Deposition)	0,35 g/m ² d (Deposition)	Jahr
SO ₂	0,5 µg/m ³ 3,8 µg/m ³ 7,4 µg/m ³	50 µg/m ³ 125 µg/m ³ 350 µg/m ³	Jahr 24 Stunden 1 Stunde
NO ₂	1,1 µg/m ³ 23,9 µg/m ³	40 µg/m ³ 200 µg/m ³	Jahr 1 Stunde

* PM 10 Schwebstaub mit aerodynamisch äquivalentem Durchmesser von ≤ 10 µm

Tab. 4.2-2: Berechnete maximale Immissionswerte für Luftschadstoffe und Staub aus den betrieblichen Emissionen des Abluftkamins der Schachtanlage Marie im Vergleich zu den Immissionswerten nach TA Luft.

	Berechneter Immissionswert	Immissionswert nach TA Luft	Mittelungszeitraum nach TA Luft
Schwebstaub (PM 10)*	0,0 µg/m ³ 0,1 µg/m ³	40 µg/m ³ 50 µg/m ³	Jahr 24 Stunden
Staubniederschlag	0,002 g/m ² d (Deposition)	0,35 g/m ² d (Deposition)	Jahr
SO ₂	0,0 µg/m ³ 0,4 µg/m ³ 2,6 µg/m ³	50 µg/m ³ 125 µg/m ³ 350 µg/m ³	Jahr 24 Stunden 1 Stunde
NO ₂	0,1 µg/m ³ 9,7 µg/m ³	40 µg/m ³ 200 µg/m ³	Jahr 1 Stunde

* PM 10 Schwebstaub mit aerodynamisch äquivalentem Durchmesser von ≤ 10 µm

4.2.2 Ableitungen über den Wasserpfad

Art und Menge

Schachtwässer werden in den Schächten gefasst, nach über Tage gepumpt und über den Salzbach (Bartensleben) bzw. über die kommunale Regenwasserkanalisation (Marie) in die Aller geleitet. Im Schacht Bartensleben fallen Schachtwässer mit einer langjährigen durchschnittlichen Zutrittsrate von ca. 3.000 m³/a an. Die Gesamtmineralisation beträgt durchschnittlich 46 g/l, davon ca. 26 g/l als Chlorid. Im Schacht Marie fallen durchschnittlich ca. 8.000 m³/a an. Die Gesamtmineralisation beträgt durchschnittlich ca. 2 g/l, davon ca. 0,7 g/l als Chlorid.

Die Jahresmenge der auf den versiegelten Flächen der kerntechnischen Anlage Schachtanlage Bartensleben anfallenden Niederschlagswässer beträgt im Mittel ca. 20.000 m³ bei einem maximalen Aufkommen von ca. 1 m³/s (15 Minuten Dauerregen). Die Stoffkonzentrationen (Staub und andere Verschmutzungen) der von den versiegelten Flächen abgeleiteten Niederschlagswässer sind sehr gering.

Schutzmaßnahmen

Ablagerungen von Staub und anderen Verschmutzungen auf versiegelten Flächen werden durch regelmäßige Reinigung dieser Flächen entsprechend dem Verschmutzungsgrad reduziert. Dadurch wird der Eintrag von Staub und anderen Verschmutzungen mit dem Niederschlagswasser in die Vorfluter reduziert.

Auswirkungen auf die Umwelt

Für die Einleitung von Niederschlagswässern von bebauten bzw. befestigten Flächen in den Vorfluter existieren keine Grenzwerte. Die in den Schachtwässern enthaltenen Salze (überwiegend Chloride) sind schwach wassergefährdend. Die Schachtwässer sind keine Abwässer im Sinne des Abwasserabgabengesetzes. Grundlage für die Beurteilung und Bewertung ihrer Umweltauswirkungen durch ihre Einleitung in die Aller ist die mit dieser Einleitung verbundene Erhöhung der Salzkonzentration der Aller. Durch das Einleiten der Schachtwässer wird die Chloridkonzentration der Aller nicht signifikant (innerhalb der natürlichen Schwankungsbreite) erhöht. Relevante Auswirkungen auf die Umwelt entstehen hieraus nicht.

Die von versiegelten Flächen der Aller zugeführten Niederschlagswässer führen dort zu keiner signifikanten Erhöhung der Stoffkonzentration.

Mit Umsetzung der Maßnahmen dieses beantragten Vorhabens entfallen die vorgenannten Ableitungen vollständig.

4.2.3 Betriebliche konventionelle Abfälle

Art und Menge

Es fallen überwachungsbedürftige und besonders überwachungsbedürftige Abfälle an, wobei der Anfall besonders überwachungsbedürftiger Abfälle wie Öle, Lösungsmittelgemische und Laborchemikalienreste auf beiden Schachtanlagen sich auf insgesamt ca. 10 m³ pro Jahr beläuft.

Daneben können auch Bau- und Abbruchabfälle sowie metallischer Schrott von insgesamt ca. 350 t pro Jahr anfallen.

Schutzmaßnahmen

Die Bau- und Abbruchabfälle werden im Rahmen der Baumaßnahmen auf den Schachtanlagen Marie und Bartensleben verwertet oder einer externen Recyclinganlage bzw. Deponie zugeführt. Metallischer Schrott wird, soweit möglich, separiert und extern verwertet.

Auswirkungen auf die Umwelt

Alle betrieblichen konventionellen Abfälle werden geeigneten Entsorgungsanlagen zugeführt. Ausreichende Entsorgungskapazitäten sind standortnah vorhanden. Die Umweltauswirkungen sind in den für diese Anlagen vorgesehenen Verfahren zu bewerten.

Mit dem Verfüllen der untertägigen Hohlräume werden sich auch die anfallenden betrieblichen konventionellen Abfälle verringern. Mit Einstellen des übertägigen Betriebes fallen keine betrieblichen konventionellen Abfälle mehr an.

4.2.4 Sonstige konventionelle Auswirkungen

Lärm

Art und Menge

Die vom derzeit noch betriebenen Hauptgrubenlüfter ausgehenden Schallemissionen liegen bei einem mittleren Schallleistungspegel von ca. 100 dB(A) im Lüfterraum. Der Lüfter wird im Rahmen der Stilllegung durch einen Lüfter mit geringerer oder gleicher Leistung ersetzt, so dass nicht mit einer Erhöhung des Schallleistungspegels zu rechnen ist.

Im Rahmen der Umrüstung auf den Stilllegungsbetrieb werden in geringem Umfang Baumaßnahmen durchgeführt. Im Zusammenhang mit dieser Bautätigkeit und dem dazu erforderlichen Kfz-Verkehr entstehen zusätzliche Schallemissionen.

Schallemissionen aus der Anlieferung von Versatzmaterialien werden in der UVS betrachtet. Die Grenzwerte der TA Lärm werden durch geeignete Schutzmaßnahmen (z. B. Lärmschutzwände) hierbei eingehalten.

Senkungen

Art und Menge

Bergbaubedingte Senkungen an der Erdoberfläche sind im Bereich des ERAM sehr gering. Die Senkungen werden durch ein übertägiges Messnetz erfasst. Die durchschnittliche Senkungsrate beträgt 0,6 mm/a am Ort der maximalen Senkung. Für den Zeitraum nach Verfüllung wird eine geringere Senkungsrate ausgewiesen. Sie beträgt 0,15 mm/a mit sinkender Tendenz. Die Berechnungen wurden mit zweidimensionalen Rechnungen ausgeführt. Die Berechnungen weisen größere Senkungsraten aus als tatsächlich zu erwarten sind.

Schutzmaßnahmen

Durch die Verfüllmaßnahmen im Rahmen der Stilllegung werden Senkungen an der Erdoberfläche weitgehend vermieden.

Auswirkungen auf die Umwelt

Da Senkungen im Bereich des ERAM sehr gering sind, sind nachteilige Auswirkungen auf die Umwelt nicht zu besorgen.

4.3 ZUSAMMENFASSENDE BEURTEILUNG DER UMWELTAUSWIRKUNGEN/WECHSELBEZIEHUNGEN

In Kapitel 4.1.1 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 beantragten Stilllegungsmaßnahmen entfallen die vorgenannten radiologischen Auswirkungen auf die Schutzgüter vollständig.

In Kapitel 4.2 werden die während der Umrüstung und Stilllegung des ERAM auftretenden konventionellen Wirkfaktoren beschrieben 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 auf der 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, treten keine signifikanten

Veränderungen der Schutzgüter ein. Bereits die direkten Auswirkungen auf die Schutzgüter (Luft- und Wasserpfad) werden als unerheblich bewertet. Eine kumulative Wirkungserhöhung ist nicht gegeben.

Die Auswirkungen der Maßnahmen zur Stilllegung sind mit erheblichen Beeinträchtigungen der Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes und Veränderungen des Landschaftsbildes verbunden. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit von Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen, die im Detail in der Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) und im Landschaftspflegerischen Begleitplan (LBP) zum Vorhaben „Stilllegung ERAM“ beschrieben sind. Alle Maßnahmen zur Stilllegung des ERAM sind temporärer Natur. Im Verlauf der Stilllegungsmaßnahmen wird der Einfluss des ERAM und der für die Stilllegung erforderlichen Baumaßnahmen nach anfänglich relativ großem Einfluss immer geringer und wird nach dem Abschluss der Stilllegungsmaßnahmen vollständig verschwinden.

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

5 SICHERHEITSANALYSEN

In den Sicherheitsanalysen werden alle Gesichtspunkte untersucht, die für die Sicherheit des Endlagers während und nach der Stilllegung von Bedeutung sind. Die Ergebnisse werden in diesem Kapitel dargestellt.

5.1 STANDSICHERHEIT DER GRUBENGEBÄUDE WÄHREND DES STILLLEGUNGSBETRIEBES

Während der Stilllegung ergeben sich durch die Art und Reihenfolge der Verfüllmaßnahmen unterschiedliche Bauzustände. Den Bauzuständen werden alle thermo-mechanischen Beanspruchungszustände im Versatz und Gebirge zugeordnet, die sich während der Verfüllphase unter dem Einfluss des abbindenden Baustoffs und der damit verbundenen Temperaturentwicklung einstellen. 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.

Für den Nachweis der Standsicherheit während des Stilllegungsbetriebs wurden die Grubengebäude Bartensleben und Marie in Feldesteile eingeteilt. Dieser Nachweis erfolgt auf Basis von numerischen Berechnungen für die Feldesteile Zentralteil, Nordfeld und Südfeld. Diese Berechnungen berücksichtigen die Bereiche der Grubengebäude mit dem höchsten Durchbaugrad und mit dem größten Wärmeeintrag durch abbindenden Baustoff. Dadurch können die rechnerischen Nachweise mittels Plausibilitätsbetrachtungen auf die anderen Feldesteile übertragen werden und sind somit abdeckend für die gesamten Grubengebäude.

Die Reihenfolge der Verfüllmaßnahmen wird in den rechnerischen Nachweisen berücksichtigt. Hierfür wird wie bei den gebirgsmechanischen Betrachtungen für die unverfüllten Grubengebäude (Kapitel 2.1.3) vorgegangen. Ausgehend vom Spannungs- und Verformungszustand des Gebirges vor Beginn der Stilllegungsmaßnahmen wird der Ablauf der Verfüllmaßnahmen unter Berücksichtigung der Eigenschaften der Versatzmaterialien rechnerisch simuliert.

Die in den einzelnen Rechenschritten ermittelten Spannungen und Verformungen im Salzgebirge und in den Versatzmaterialien sind bewertet worden. Die Standsicherheit für die gesamten Grubengebäude wurde für alle Bauzustände während des Stilllegungsbetriebes nachgewiesen.

Die Integrität der Einlagerungsbereiche wurde durch eine ausreichend mächtige Salzbarriere unter Einhaltung von Sicherheitsabständen nachgewiesen. Auf Basis der numerischen Berechnungen wurde der Erhalt der Integrität der Barriere während des Stilllegungsbetriebs gezeigt. Hierzu wurden die Spannungszustände, die sich

während der Verfüllphase einstellen, mit einem Kriterium (Dilatanzkriterium) bewertet, dass zeigt, ab welchem Spannungszustand Auflockerungen im Steinsalzgebirge auftreten.

Die Bewertung der Arbeitssicherheit erfolgt vorrangig auf Grundlage der Einschätzung des bergbaulichen Fachpersonals 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. Verformungsmessungen). In Bereichen, für die die Arbeitssicherheit mit diesem Instrumentarium nicht ausgewiesen werden kann, greifen technische/organisatorische Maßnahmen (z. B. Absperrungen von Grubenteilen).

5.2 RADIOLOGISCHE VERHÄLTNISSE IM BESTIMMUNGSGEMÄßEN STILLLEGUNGSBETRIEB

5.2.1 Strahlenexposition des Personals

Wie in Kapitel 1.2.2 dargestellt, wird der übertägige Kontrollbereich vor Beginn des Stilllegungsbetriebes rückgebaut und freigegeben. Aus diesem Grund ist zu Beginn der Stilllegung der Kontrollbereich über Tage einschließlich der Schachtröhre und des Füllortbereichs 4. Sohle aufgehoben. Der untertägige Kontrollbereich umfasst zu diesem Zeitpunkt folgende Bereiche: -372 m-Sohle (4. Sohle) und -346 m-Sohle (4a-Sohle) sowie -420 m-Sohle (5. Sohle) bis -500 m-Sohle (7. Sohle) mit Ausnahme des schachtnahen Bereiches Füllort -372 m-Sohle (4. Sohle) (siehe Kapitel 3.1.2).

Die im verbleibenden untertägigen Kontrollbereich beschäftigten Personen sind weiterhin zu überwachen und ihre Körperdosis ist zu ermitteln. Für die äußere Bestrahlung geschieht dies weiterhin mit den vorgeschriebenen amtlichen und betrieblichen Personendosimetern.

Im Kapitel 4.1 wurde gezeigt, dass die Ortsdosisleistung im gesamten Grubengebäude, außer im Bereich offenstehender betrieblicher radioaktiver Abfälle und der Konditionierungsanlage, unterhalb von $1 \mu\text{Sv/h}$ und in den meisten Bereichen auf dem Niveau des natürlichen Hintergrundwertes von ca. $0,1 \mu\text{Sv/h}$ liegt.

Die jährliche Aufenthaltszeit einer Person der Belegschaft im Kontrollbereich unter Tage beträgt im ERAM maximal 1.400 h. Daraus ergibt sich eine effektive Dosis infolge äußerer Bestrahlung von weniger als 1 mSv/a . Für Orte im Bereich der Konditionierungsanlage, an denen kurzzeitige Arbeiten in Fassnähe durchgeführt werden, ist abdeckend mit einem Wert von $70 \mu\text{Sv/h}$ zu rechnen. Für einzelne

Beschäftigte, die im Bereich der Konditionierungsanlage tätig sind, ergibt sich unter der Annahme, dass in der Konditionierungsanlage im Jahr ca. 100 Abfallgebinde hergestellt werden und bei einem Hantierungsaufwand von 0,5 h pro Abfallbehälter eine Individualdosis von etwa 1 mSv/a. Diese Abschätzung wurde durch die vorgenommenen Messungen bestätigt.

Eine innere Strahlenexposition durch Inkorporation von Radionukliden kann sowohl über den Inhalations- als auch über den Ingestionspfad erfolgen. Ihre Höhe hängt von der Aktivitätskonzentration der Radionuklide in den Wettern (Inhalation) bzw. vom Vorhandensein nicht festhaftender Kontaminationen ab (Ingestion). Inkorporationen durch Ingestion spielen beim Aufenthalt im Kontrollbereich unter Tage keine Rolle, da Essen, Trinken und Rauchen im Kontrollbereich untersagt sind. Zusätzlich sind kontaminierte Bereiche abgesperrt.

Die Aktivitätskonzentrationen in den Wettern der Tätigkeitsbereiche während der Umrüstungs- und Stilllegungsphase hängen stark von der jeweils vorhandenen Wetterführung ab. Aufgrund der Einhaltung bergrechtlicher Vorschriften zur Bemessung von Mindestwettermengen können in einem untertägigen Tätigkeitsbereich höchstens die in Tab. 5.2-1, Spalte 2 aufgeführten Werte erreicht werden. Die Auswertung der Berichte über die betriebliche Überwachung der Aktivitätskonzentration in den Wettern zeigt, dass nach Beendigung des Einlagerungsbetriebes diese Werte stets unterschritten wurden. Bei Rn-222 ist der natürliche Anteil aus dem einzubringenden Versatz und Baumaterialien enthalten. Die niedrigen Aktivitätskonzentrationen in den Tätigkeitsbereichen sind Folge der betriebsbegleitend durchgeführten Maßnahmen „Versetzen und Abmauern“ der Einlagerungsgrubenbaue (siehe Kapitel 4.1).

Aus den in Tab. 5.2-1, Spalte 2 angegebenen Maximalwerten der Aktivitätskonzentration in der Luft in den untertägigen Tätigkeitsbereichen wurden die in Spalte 3 angegebenen maximalen effektiven Dosen infolge Inhalation berechnet. Für die Berechnung wurde eine jährliche Arbeitszeit von 1.400 h unter Tage und eine Atemrate von 1,2 m³/h zugrunde gelegt. Die Aufnahme von H-3 über die Haut beim Aufenthalt in einer mit tritiiertem Wasser kontaminierten Atmosphäre wird mit einer Erhöhung der Atemrate von 1,2 m³/h auf 1,8 m³/h für H-3 berücksichtigt. Des Weiteren wurden die amtlichen Dosiskoeffizienten für H-3, C-14 und der Dosiskonversionskoeffizient für Arbeitende für Rn-222 einschließlich Folgeprodukte gemäß Richtlinie 96/29 EURATOM verwendet. Die betriebsbegleitend durchgeführten Messungen weisen aus, dass H-3 (T) überwiegend in Form von H₂O (HTO) und weniger als H₂-Gas (HT) sowie C-14 überwiegend in Form von CO₂ und weniger in organischen Verbindungen auftritt. Wegen der im Vergleich zu HTO geringeren radiologischen Wirkung von HT wird die Inhalationsdosis für das gesamte H-3 mit dem Inhalationsdosiskoeffizienten für HTO berechnet. Für C-14 ist die Annahme eines durchschnittlichen organischen Anteils von 20 % abdeckend. Die Inhalationsdosis durch langlebige Aerosole inklusive Pb-210 beträgt für die in den Wettern im untertägigen Kontrollbereich auftretenden Konzentrationen nur einige nSv/a. Sie kann deshalb vernachlässigt werden und ist in der Tabelle nicht

aufgeführt. Die Abschätzungen zeigen, dass für die im Kontrollbereich Beschäftigten insgesamt höchstens Körperdosen in Höhe von 3 mSv/a auftreten können.

Die Grenzwerte des § 55 Abs. 1 StrlSchV werden sicher eingehalten. Die Bewertung der effektiven Dosis für das Personal stellt sicher, dass auch die Organdosisgrenzwerte für die innere Bestrahlung unterschritten werden, da für alle Organe bei gleichen Dosiskoeffizienten deutlich höhere Grenzwerte gelten.

Tab. 5.2-1: Maximalwerte der inneren Strahlenexposition des Personals.

Radionuklid	Maxima der Aktivitätskonzentration in den Tätigkeitsbereichen in Bq/m ³	Maximalwert der effektiven Dosis des Personals durch innere Bestrahlung in mSv/a
H-3	1.000	0,05 (100 % als HTO)
C-14	40	0,007 (80 % als CO ₂ , 20 % in organischen Verbindungen)
Rn-222 (EEC) ¹⁾	80	0,88
Summendosis		< 1 mSv/a

1) Gleichgewichtsäquivalente Rn-222 Konzentration (Aktivitätskonzentration der kurzlebigen Rn-Folgeprodukte)

Untertägige Arbeiten in Bergwerken zählen gemäß Anlage XI zur StrlSchV zu den Arbeitsfeldern, bei denen erheblich erhöhte Expositionen durch Radon-222 auftreten können und für die eine auf den Arbeitsplatz bezogene Abschätzung der Rn-222-Exposition oder der Körperdosis durchzuführen ist (§ 95 Abs. 1 StrlSchV). Die Dosis von 0,88 mSv/a infolge der Inhalation von Rn-222 einschließlich der Folgeprodukte ist – gemessen am Grenzwert der effektiven Dosis für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv/a oder am Maßnahmewert gemäß § 95 Abs. 2 StrlSchV von 6 mSv/a – als sehr gering einzustufen. Sie entspricht der radonbedingten Inhalationsdosis, die auch außerhalb von Kontrollbereichen während der üblichen Arbeitszeit auftreten kann.

Durch eine geeignete Wetterführung und Aufenthaltsbeschränkungen wird dem Gebot der Dosisvermeidung und Dosisreduzierung des § 6 StrlSchV entsprochen.

5.2.2 Wirkung der Strahlung auf das Salzgestein

Ionisierende Strahlung kann in Salzgestein verschiedene Effekte hervorrufen, die abhängig sind von der aufgenommenen Dosis, der Dosisleistung, der Temperatur und den Eigenschaften des Salzgesteins. Zu den möglichen Effekten gehören:

- Die Zersetzung von NaCl unter Bildung von Fehlstellen im Kristallgitter bis zur Bildung von Natrium, Chlorradikalen und molekularem Chlorgas (Cl_2) und damit eine möglicherweise instabile Energiespeicherung im Salz.
- Die Zersetzung von im Salz enthaltenen Nebenbestandteilen und Lösungseinschlüssen unter Bildung von Gasen wie H_2 , CH_4 und CO_2 sowie Säuren (z. B. Chlorsäuren in verschiedenen Oxidationsstufen).
- Die Temperaturerhöhung des Salzes und damit eine möglicherweise erhöhte Gasbildungsrate sowie eine erhöhte Kriechrate des Gesteins.

In den Sohlenbohrlöchern des UMF traten bis 1998 maximale Energiedosisleistungen von 10 kGy/h auf, die jedoch auf die ersten Zentimeter im Salzgestein in unmittelbarer Nähe der Spezialcontainer beschränkt blieben. Infolge dieser Bestrahlung wurde bis 2005 eine maximale Energiedosis von 500 MGy aufgenommen. Für die Zeit nach 2005 wurde eine integrale Energiedosis von etwa 50 MGy berechnet, so dass sich dann insgesamt eine maximal aufgenommene Energiedosis von ca. 550 MGy ergibt. Die maximale Temperatur beträgt derzeit am Bohrlochrand nur noch wenige Kelvin ($<10\text{ K}$) mehr als die Temperatur des ungestörten Gebirges (ca. $22\text{ }^\circ\text{C}$).

Die Zersetzung von Salz an den Bohrlochwänden im UMF führt dort zu Fehlstellen im Kristallgitter von wenigen Prozenten. Unter diesen Bedingungen kommt es zur Bildung von äußerst geringen Mengen an Cl_2 , die sicherheitstechnisch nicht von Bedeutung sind, zumal der größte Teil des Cl_2 im Kristallverband des Halits verbleibt und nicht freigesetzt wird. Die mit der Bildung von Fehlstellen verknüpfte Speicherung von Energie führt selbst unter der Annahme einer spontanen Energiefreisetzung infolge einer Rekombination von Natrium und Chlor zu keinen sicherheitstechnisch relevanten Konsequenzen.

Die Gasbildung durch Radiolyse in Salz beträgt für die Abfälle im UMF mit der höchsten Ortsdosisleistung unter konservativen Annahmen integral, d. h. summiert über den gesamten bisherigen Bestrahlungszeitraum etwa einen halben Liter (überwiegend H_2 und CO_2) pro Kilogramm Salz in einem Bereich von einigen Zentimetern um den Bohrlochrand. Davon sind mehr als 90 % bereits jetzt gebildet und mit der Bewetterung abgeführt worden. Die verbleibende noch zu bildende Gasmenge von weniger als 1 l pro Spezialcontainer schließt auch langfristig eine Auswirkung von sicherheitstechnischer Bedeutung aus.

Der Wärmeeintrag in das Salzgestein hat keinen Einfluss auf die gesamte Gasbildung, da nennenswerte Effekte erst ab Temperaturen von etwa $100\text{ }^\circ\text{C}$ bis $150\text{ }^\circ\text{C}$ auftreten. Der Einfluss auf das Kriech- und Konvergenzverhalten ist ver-

gleichsweise sehr gering und braucht nicht weiter berücksichtigt zu werden, da er auf einen örtlich begrenzten Bereich mit einem Durchmesser von ca. 1 m beschränkt ist. Die Wärmeleistung der Quellen ist wegen der vergleichsweise kurzen Halbwertszeiten (bis zu 30 Jahren) der in den Spezialcontainern befindlichen Radionuklide bereits deutlich abgeklungen.

Für den Bereich des Radiumfasses bleiben die genannten Effekte aufgrund der um rund drei Größenordnungen (Faktor 1.000) geringeren Aktivität weit hinter den Auswirkungen durch die Spezialcontainer im UMF zurück.

Im Bereich der Grubenbaue, in denen niedrig- und mittelradioaktive Abfälle gestapelt, verstürzt oder in situ verfestigt wurden, spielen diese Effekte keine Rolle, weil die aufgenommene Energiedosis und die Energiedosisleistung (ca. 1 Gy/h) zu niedrig sind.

5.3 STÖRFALLANALYSEN

Im Rahmen der erforderlichen Vorsorge gegen Schäden gemäß § 7 Abs. 2 Nr. 3 AtG ist für den Stilllegungsbetrieb eine Störfallanalyse durchzuführen. Ein Störfall ist in § 3 Abs. 2 Nr. 28 StrlSchV definiert als ein 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. Sicherheitstechnisch relevant i. S. des § 3 Abs. 2 Nr. 28 StrlSchV kann eine Freisetzung radioaktiver Stoffe am Störfallort innerhalb der Anlage sein. Zudem soll nach § 49 Abs. 1 StrlSchV die Anlage so ausgelegt sein, dass eine störfallbedingte Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung der Anlage begrenzt wird.

Es werden diejenigen Ereignisabläufe identifiziert und betrachtet, die aufgrund potenzieller Freisetzung radioaktiver Stoffe am Störfallort relevant sind und die nicht als anomale Zustände des bestimmungsgemäßen Betriebes in der betreffenden Sicherheitsanalyse (Kapitel 4.1) betrachtet werden. Dazu zählen Ereignisabläufe infolge anlageninterner Einwirkungen und Ereignisabläufe infolge naturbedingter und sonstiger Einwirkungen von außen sowie Kritikalitätsereignisse. Die identifizierten Ereignisabläufe werden als potenzielle Störfälle bezeichnet, unabhängig vom Ergebnis der Betrachtung, ob eine Freisetzung radioaktiver Stoffe am Störfallort oder in die Umgebung der Anlage ggf. vermieden wird oder so gering ist, dass das Ereignis kein Störfall i. S. des § 3 Abs. 2 Nr. 28 StrlSchV ist. Durch diese systematische Vorgehensweise wird sichergestellt, dass alle unerwünschten Ereignisse erfasst und die erforderlichen Vorsorgemaßnahmen getroffen werden.

Beim ERAM orientiert sich die Ermittlung der zu betrachtenden Ereignisabläufe an der bestehenden Auslegung der Anlage, den bestehenden Betriebsvorschriften

sowie an den vorlaufenden und während des Stilllegungsbetriebes durchzuführenden Änderungen.

Für die identifizierten Ereignisabläufe mit potenzieller Freisetzung radioaktiver Stoffe am Störfallort während des Stilllegungsbetriebes wird nachgewiesen, dass

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

Die obigen Definitionen bzw. Abgrenzung der Störfallklassen orientieren sich an den §§ 6 und 49 StrlSchV.

Die potenziellen Störfälle in einem Endlager sind Ereignisabläufe, die i. d. R. ein primäres Ereignis (z. B. einen Brand), die Freisetzung radioaktiver Stoffe am Störfallort infolge des primären Ereignisses, ihre Ausbreitung mit den Grubenwettern bis zum Freisetzungsort aus der Anlage (z. B. einem Abwetterschlot) und die Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung gemäß den Störfallberechnungsgrundlagen zu § 49 StrlSchV umfassen. Für die Zuordnung eines Ereignisablaufs zur Störfallklasse 2 muss die Störfallvorsorge mindestens an einer Stelle des Ereignisablaufs innerhalb der Anlage greifen, um eine Freisetzung in die Umgebung der Anlage zu vermeiden, oder es muss die Freisetzung am Störfallort so gering sein (z. B. infolge einer Begrenzung des Inventars radioaktiver Stoffe am potenziellen Störfallort), dass das Ereignis kein Störfall i. S. des § 3 Abs. 2 Nr. 28 StrlSchV ist. Die Freisetzung wird als entsprechend gering eingeschätzt, wenn am potenziellen Störfallort ein geringeres Inventar radioaktiver Stoffe vorliegt als das 100-fache der Werte der Anl. III Tab. 1 Spalte 2 StrlSchV und die Kontaminationen der dort vorliegenden Oberflächen das 100fache der Werte der Anl. III Tab. 1 Spalte 4 StrlSchV unterschreiten. Eine Freisetzung flüssiger oder fester radioaktiver Stoffe (z. B. kontaminierter Lösungen und Feststoffe) innerhalb der Anlage unterhalb des 100fachen der Werte der Anl. III Tab. 1 Spalte 3 StrlSchV ist ebenfalls kein Störfall i. S. des § 3 Abs. 2 Nr. 28 StrlSchV. Durch diese Abgrenzungen werden solche Freisetzungen dem bestimmungsgemäßen Betrieb zugeordnet.

Gegenstand der Betrachtungen sind die im ERAM eingelagerten radioaktiven Abfälle sowie radioaktive und potenziell kontaminierte betriebliche Abfälle und Stoffe. Radioaktive Stoffe unterhalb des 100fachen der Freigrenzen und Oberflächenkontaminationen der Anl. III Tab. 1 Spalten 2 bis 4 StrlSchV können unter Störfallgesichtspunkten außer Acht gelassen werden.

Beruhend auf der zu Beginn des Stilllegungsbetriebes bereits vorhandenen Störfallvorsorge werden bis auf wenige, nachfolgend beschriebene Ausnahmen alle betrachteten Ereignisabläufe der Störfallklasse 2 zugeordnet. Nach einem allseitigen Verschließen durch Barrieren aus Salzbeton oder anderen geeigneten Materialien ist eine störfallbedingte Freisetzung radioaktiver Stoffe aus den Einlagerungsgrubenbauen und den Funktionsräumen nicht zu besorgen, d. h. alle Ereignisabläufe im Grubengebäude gehören der Störfallklasse 2 an.

Für die identifizierten Ereignisse der Störfallklasse 1 wird nachgewiesen, dass die Störfallplanungswerte des § 49 Abs. 1 StrlSchV eingehalten werden. Die Ergebnisse und Randbedingungen der für diesen Nachweis durchgeführten Rechnungen werden in den Kapiteln 5.3.1 und 5.3.2 angegeben. Das Vorgehen ist dabei i. d. R. jeweils gleich: Zunächst werden die Quellterme am Störfallort, d. h. die am Störfallort eventuell freigesetzten radioaktiven Stoffe in Abhängigkeit von ihrer stofflichen Beschaffenheit (aerosolförmig, flüchtig, chemische Zusammensetzung) ermittelt. Für die störfallbedingt entstandenen Aerosole werden die Quellterme partikelgrößenabhängig bestimmt. Bei Störfällen unter Tage würden die am jeweiligen Störfallort freigesetzten luftgetragenen radioaktiven Stoffe mit den Grubenwettern transportiert und in die Umgebung freigesetzt. Ein Teil der Abwetter zieht im Schacht Bartensleben luttengeführt über einen Abwetterschlot aus. Die restlichen Wetter ziehen über die Verbindungsstrecken in das Grubengebäude Marie und danach über den Abwetterschlot am Schacht Marie aus. Während des untertägigen Transports zum Abwetterschlot käme es zur Abscheidung radioaktiver Aerosole. Für Störfälle infolge mechanischer Beaufschlagungen wird die Abscheidung berechnet. Bei Störfällen infolge thermischer Beaufschlagungen wird unterstellt, dass keine Abscheidung zwischen Störfallort und Abwetterschlot stattfindet. Die Quellterme am Ort der Freisetzung in die Umgebung (Abwetterschlot) werden unter Zugrundelegung dieser Vorgehensweisen für die Abscheidung radioaktiver Aerosole ermittelt.

Basierend auf den Quelltermen werden die potenziellen Strahlenexpositionen des Menschen in der Umgebung des ERAM mit deterministischen Verfahren in Anlehnung an die Störfallberechnungsgrundlagen zu § 49 StrlSchV berechnet. Für den jeweils betrachteten Störfall werden die höchsten radiologischen Auswirkungen bestimmt. Diese sind durch die Organdosis der Referenzperson gegeben, für die das Verhältnis der Organdosis zum zugehörigen Störfallplanungswert am höchsten ist. Die Störfallplanungswerte des § 49 Abs. 1 StrlSchV werden eingehalten, wenn das so bestimmte höchste Verhältnis kleiner eins ist.

5.3.1 Anlageninterne Ereignisse

Zu den anlageninternen Ereignissen zählen:

- **Interner Brand** oder Schwelbrand von eingelagerten radioaktiven Abfällen sowie von radioaktiven und potenziell kontaminierten betrieblichen Abfällen und Stoffen infolge interner Einwirkungen (z. B. Selbstentzündung der Abfälle) innerhalb der Einlagerungsgrubenbaue und der Funktionsräume,
- Beaufschlagung der eingelagerten radioaktiven Abfälle sowie von radioaktiven und potenziell kontaminierten betrieblichen Abfällen und Stoffen in den Einlagerungsgrubenbauen und den Funktionsräumen (thermische Beaufschlagung, z. B. durch einen Brand von Transport- und Grubenfahrzeugen, Maschinen, Fördereinrichtungen, Kabeln, sowie mechanische Beaufschlagung, z. B. durch eine Fahrzeugkollision oder Bohrarbeiten am Einlagerungsgrubenbau oder Funktionsraum),
- **Gebirgsmechanische Einwirkungen** mit mechanischer Beaufschlagung der eingelagerten radioaktiven Abfälle sowie von radioaktiven und potenziell kontaminierten betrieblichen Abfällen und Stoffen in den Einlagerungsgrubenbauen und den Funktionsräumen,
- **Instantane Freisetzung** von Wettern mit ggf. akkumulierten flüchtigen radioaktiven Stoffen (hauptsächlich H-3, C-14, Rn-222 und Folgeprodukte) aus unversetzten bzw. nicht vollständig versetzten Einlagerungsgrubenbauen und Funktionsräumen infolge eines plötzlichen Integritätsverlustes (Undichtwerdens) einer Rückhaltebarriere (z. B. einer Abschlussmauer oder einer Abdichtung eines Sohlenlochs),
- **Deflagration zündfähiger Gasgemische** in unversetzten bzw. nicht vollständig versetzten Einlagerungsgrubenbauen und Funktionsräumen (hauptsächlich Wasserstoffbildung durch Metall/Wasser-Reaktionen und Zündung),
- **Sonstige im Einzelfall zu betrachtende anlageninterne Ereignisse** (z. B. Leckagen im Lager- und Konditionierungsbereich für flüssige radioaktive Abfälle, korrosionsbedingtes Versagen einer Rohrtour im UMF, Ereignisse im Laborcontainer zur Umgebungsüberwachung),
- Ferneinwirkungen auf Einlagerungsgrubenbaue und Funktionsräume (z. B. durch Ereignisse im Öl- und Diesellager, an der Betankungsstelle, bei Betriebsmitteltransporten, im Sprengmittellager, an Sprengorten, am Fahrzeugstellplatz im Abbau 3s auf der 4. Sohle, in der Zentralwerkstatt, am Füllort Bartensleben auf der 4. Sohle und im Schacht Bartensleben, in sonstigen mit Fahrzeugen befahrbaren Grubenbauen).

Während des Stilllegungsbetriebes werden die Bewetterung und die Stromversorgung aufrechterhalten. Bei ihrem Ausfall kommt es nicht zum Störfall; daher werden diese anomalen Betriebszustände im Kapitel zum bestimmungsgemäßen Betrieb (Kapitel 4.1) behandelt. Der etwaige Zutritt von Überschusslösungen aus dem Verfüllbetrieb in die Einlagerungsgrubenbaue und die

Funktionsräume vor ihrer Verfüllung oder einem allseitigen Verschließen durch Barrieren aus Salzbeton oder anderen geeigneten Materialien wird ebenfalls als Ereignis des anomalen Betriebes in Kapitel 4.1 betrachtet.

Interner Brand

Vorsorge gegen einen internen Brand oder Schwelbrand von eingelagerten radioaktiven Abfällen sowie von radioaktiven und potenziell kontaminierten betrieblichen Abfällen und Stoffen infolge interner Einwirkungen (z. B. Selbstentzündung der Abfälle) innerhalb der Einlagerungsgrubenbaue oder der Funktionsräume ist durch mindestens eine der folgenden diversitären Maßnahmen oder Eigenschaften getroffen:

- Überdeckung der Abfälle mit Braunkohlenfilterasche bzw. Salzgrus als Versatzmaterial im
 - Zentralteil: Einlagerungsgrubenbaue unterhalb der 4a-Sohle,
 - Südfeld: Abbaue 1, 2 und 3,
 - Westfeld: Einlagerungsgrubenbaue des Westfelds 1 und 2, Westgesenk B,
 - Ostfeld: Abbau 2,
- Nichtbrennbarkeit der Abfallprodukte im
 - Zentralteil: Einlagerungsgrubenbaue unterhalb der 4a-Sohle, Durchsumpfungsräume,
 - Südfeld: Abbau 3, Grubenbaue der 7. Sohle, Versuchsbereiche (Versuchsorte) zur Durchsumpfung, Lager- und Konditionierungsbereich für flüssige radioaktive Abfälle, sonstige Räume des betrieblichen Strahlenschutzes und Einsatzorte der Strahlenquellen (ohne Radionuklid-Laborplatz),
 - Westfeld: Westgesenk B,
 - Ostfeld: Einlagerungsgrubenbau mit Radiumfass,
 - UMF: Einlagerungsgrubenbau, Sohlenbohrlöcher sowie an
 - Einsatzorten potenziell kontaminierter Anlagenteile der Bewetterungstechnik außerhalb der Einlagerungsbereiche,
- Minimierung der Brandlasten und (sofern der Grubenbau nicht abgeschlossen ist) Brandfrüherkennungs- und Brandschutzmaßnahmen in unversetzten bzw. nicht vollständig versetzten Grubenbauen im
 - Nordfeld: Einlagerungsgrubenbaue (Brandfrüherkennung), Randbereich,
 - Zentralteil: Einlagerungsgrubenbaue unterhalb der 4a-Sohle, Durchsumpfungsräume,

- Südfeld: Lager- und Konditionierungsbereich für flüssige radioaktive Abfälle, Räume des betrieblichen Strahlenschutzes und sonstige Einsatzorte der Strahlenquellen,
- Westfeld: Westgesenk B, Lagerort für betriebliche Abfälle, Bremsberg,
- Ostfeld: Abbau 2, Einlagerungsgrubenbau mit Radiumfass,
- UMF: Einlagerungsgrubenbau sowie an
- Einsatzorten potenziell kontaminierter Anlagenteile der Bewetterungstechnik außerhalb der Einlagerungsbereiche.

Eine Freisetzung radioaktiver Stoffe infolge eines internen Brandes oder Schwelbrandes ist deshalb bereits vor einem allseitigen Verschließen der Einlagerungsgrubenbaue und der Funktionsräume durch Barrieren aus Salzbeton oder anderen geeigneten Materialien nicht zu besorgen (Ereignis der Störfallklasse 2).

Beaufschlagung der radioaktiven Abfälle

Vorsorge gegen eine Beaufschlagung der eingelagerten radioaktiven Abfälle sowie von radioaktiven und potenziell kontaminierten betrieblichen Abfällen und Stoffen in den Einlagerungsgrubenbauen oder den Funktionsräumen (thermische Beaufschlagung, z. B. durch einen Brand von Transport- und Grubenfahrzeugen, Maschinen, Fördereinrichtungen, Kabeln sowie mechanische Beaufschlagung, z. B. durch eine Fahrzeugkollision oder Bohrarbeiten am Einlagerungsgrubenbau oder Funktionsraum) ist durch eine Kombination der folgenden z. T. diversitären Maßnahmen getroffen:

- Abschluss von Einlagerungsgrubenbauen und Funktionsräumen (z. B. durch Mauern oder Sohlenlochdeckel) im
 - Nordfeld: Einlagerungsgrubenbaue,
 - Zentralteil: Durchsumpfungsräume,
 - Südfeld: Abbaue 1, 2 und 3, Versuchsbereiche zur Durchsumpfung, Lager- und Konditionierungsbereich für flüssige radioaktive Abfälle, Räume des betrieblichen Strahlenschutzes,
 - Westfeld: Einlagerungsgrubenbaue des Westfelds 1 und 2, Westgesenk B,
 - Ostfeld: Abbau 2, Einlagerungsgrubenbau mit Radiumfass,
 - UMF: Einlagerungsgrubenbau, Sohlenbohrlöcher,
- Überdeckung der Abfälle mit Braunkohlenfilterasche bzw. Salzgrus als Versatzmaterial im

- Zentralteil: Einlagerungsgrubenbaue unterhalb der 4a-Sohle (Abfälle innerhalb der Versatzschicht),
- Südfeld: Abbaue 1, 2 und 3,
- Westfeld: Einlagerungsgrubenbaue des Westfelds 1 und 2, Westgesenk B,
- Ostfeld: Abbau 2,
- Einlagerung unterhalb der befahrbaren Sohle im
 - Südfeld: Abbaue 1, 2 und 3, Grubenbaue der 7. Sohle,
 - Westfeld: Westgesenk B,
 - Ostfeld: Einlagerungsgrubenbau mit Radiumfass,
 - UMF: Sohlenbohrlöcher,
- Brandschutzmaßnahmen und kontrollierte Entwitterung in den Einlagerungsbereichen bzw. den mit Fahrzeugen befahrbaren Grubenbauen im
 - Nordfeld: Randbereich,
 - Zentralteil: Einlagerungsgrubenbaue unterhalb der 4a-Sohle,
 - Südfeld: Lager- und Konditionierungsbereich für flüssige radioaktive Abfälle, mit Fahrzeugen befahrbare sonstige Einsatzorte der Strahlenquellen,
 - Westfeld: Lagerort für betriebliche Abfälle,
 - Ostfeld: Abbau 2,
 - UMF: Einlagerungsgrubenbau sowie an
 - mit Fahrzeugen befahrbaren Einsatzorten potenziell kontaminierter Anlagenteile der Bewetterungstechnik außerhalb der Einlagerungsbereiche,
- Reduzierung der Fahrzeugaufenthalte in der Umgebung der Einlagerungsgrubenbaue und der Funktionsräume, in denen radioaktive Stoffe vorliegen, auf das unvermeidbare Minimum,
- Ausrüstung der Fahrzeuge und betrieblich geregelter Umgang mit Fahrzeugen,
- Beaufsichtigung abgestellter Fahrzeuge (außer auf dafür vorgesehenen Abstellplätzen: Fahrzeugstellplatz im Abbau 3s auf der 4. Sohle, Zentralwerkstatt, Füllort Bartensleben auf der 4. Sohle),
- Trennen der Batterien vom Bordnetz (durch Betätigung des Batterie Hauptschalters) bei abgestellten Fahrzeugen,
- Ausrüstung der Fahrzeuge mit Feuerlöschern,
- regelmäßige Wartung und Prüfung der Fahrzeuge,
- Brandschutzkunde des Personals,
- Vorhalten und ständige Verfügbarkeit der Grubenwehr,

- Zielgenaues Bohren im
 - Südfeld: Lager- und Konditionierungsbereich für flüssige radioaktive Abfälle, Räume des betrieblichen Strahlenschutzes,
 - UMF: Einlagerungsgrubenbau.

In den übrigen Einlagerungsgrubenbauen und Funktionsräumen finden keine Bohrarbeiten oberhalb oder in der Nähe von unüberdeckten Abfällen statt.

Eine Freisetzung radioaktiver Stoffe infolge einer Beaufschlagung ist deshalb auch vor einem allseitigen Verschließen der Einlagerungsgrubenbaue und der Funktionsräume durch Barrieren aus Salzbeton oder anderen geeigneten Materialien nicht zu besorgen (Ereignis der Störfallklasse 2).

Lediglich beim Transport und der Einlagerung der radioaktiven betrieblichen Abfälle wird eine Beaufschlagung dieser Abfälle mit Freisetzung radioaktiver Stoffe unterstellt (Ereignis der Störfallklasse 1). Bei einem Brand eines Fahrzeuges mit thermischer Beaufschlagung einer kompletten Charge von 24 Fässern mit zementierten verdünnten Eindampfrückständen werden die Störfallplanungswerte des § 49 Abs. 1 StrlSchV nur zu einem Bruchteil von $5 \cdot 10^{-4}$ ausgeschöpft. Der maßgebende Störfallplanungswert ist der für das rote Knochenmark (50 mSv) für eine Referenzperson der Altersgruppe 0 bis 1 Jahr. Zugrunde gelegt wurden dabei

- das maximale nuklidspezifische Inventar einer Konditionierungscharge aus Tab. 3.4-1,
- der Freisetzunganteil am Störfallort von $5 \cdot 10^{-4}$ für nicht-flüchtige radioaktive Stoffe in zementierten Abfällen (C-14 und flüchtige radioaktive Stoffe sind im Inventar nicht enthalten, da sie prozessbedingt aus Eindampfrückständen verflüchtigt sind),
- eine Partikelgrößenverteilung bestehend zu 100 % aus der Partikelgrößenfraktion $< 5 \mu\text{m}$,
- keine Abscheidung dieser Partikelgrößenfraktion zwischen dem Störfallort und den Abwetterschloten und
- der Freisetzungspfad zu 13 % über den Abwetterschlot am Schacht Bartensleben und zu 87 % über den Abwetterschlot am Schacht Marie.

Der nuklidspezifische Quellterm am Störfallort wird durch Multiplikation des nuklidspezifischen Inventars (erster Spiegelstrich) mit dem von der Flüchtigkeit des jeweiligen Nuklids abhängigen Freisetzunganteil am Störfallort (zweiter Spiegelstrich) erhalten. Der nuklidspezifische Quellterm am Freisetzungsort in die Umgebung wird durch eine weitere Multiplikation mit dem Freisetzunganteil für den jeweiligen Abwetterschlot (letzter Spiegelstrich) erhalten.

Dieses Störfallszenarium ist abdeckend für Störfälle bei der Handhabung sonstiger radioaktiver und potenziell kontaminierter betrieblicher Abfälle und Stoffe.

Gebirgsmechanische Einwirkungen

Vorsorge gegen eine mechanische Beaufschlagung der eingelagerten radioaktiven Abfälle sowie von radioaktiven und potenziell kontaminierten betrieblichen Abfällen und Stoffen durch einen Löserfall in den Einlagerungsgrubenbauen oder den Funktionsräumen ist durch mindestens eine der folgenden diversitären Maßnahmen getroffen:

- Überdeckung der Abfälle mit Braunkohlenfilterasche bzw. Salzgrus als Versatzmaterial im
 - Zentralteil: Einlagerungsgrubenbaue unterhalb der 4a-Sohle,
 - Südfeld: Abbaue 1, 2 und 3,
 - Westfeld: Einlagerungsgrubenbaue des Westfelds 1 und 2, Westgesenk B,
 - Ostfeld: Abbau 2,
- Stapelung der Abfälle bis zur Firste im
 - Nordfeld: Einlagerungsgrubenbaue,
 - Westfeld: Einlagerungsgrubenbaue des Westfelds 1 und 2, Lagerort für betriebliche Abfälle,
- Einlagerung der Abfälle in verdeckelten Sohlenlöchern im
 - Westfeld: Versuchsbereich zur Durchsumpfung 1 westlich,
 - Ostfeld: Einlagerungsgrubenbau mit Radiumfass,
 - UMF: Sohlenbohrlöcher,
- Firstsicherung (z. B. durch regelmäßige Kontrollen und Beraubung bei Bedarf) in unversetzten bzw. nicht vollständig versetzten Grubenbauen im
 - Nordfeld: Randbereich,
 - Zentralteil: Einlagerungsgrubenbaue unterhalb der 4a-Sohle,
 - Südfeld: Lager- und Konditionierungsbereich für flüssige radioaktive Abfälle, Räume des betrieblichen Strahlenschutzes und sonstige Einsatzorte der Strahlenquellen,
 - Westfeld: Westgesenk B, Lagerort für betriebliche Abfälle,
 - Ostfeld: Abbau 2,
 - UMF: Einlagerungsgrubenbau sowie an
 - Einsatzorten potenziell kontaminierter Anlagenteile der Bewetterungstechnik außerhalb der Einlagerungsbereiche,
- gebirgsschonende Auffahrung der Grubenbaue im

- Ostfeld: Einlagerungsgrubenbau mit Radiumfass,
- Grubenstabilisierung im
 - Zentralteil: Einlagerungsgrubenbaue unterhalb der 4a-Sohle.

Eine Freisetzung radioaktiver Stoffe infolge eines Löserfalls ist deshalb auch vor einem allseitigen Verschließen der Einlagerungsgrubenbaue und der Funktionsräume durch Barrieren aus Salzbeton oder anderen geeigneten Materialien nicht zu besorgen (Ereignis der Störfallklasse 2).

Lediglich in der Durchsumpfungsrube im Zentralteil bzw. dem Versuchsbereich zur Durchsumpfung 1 östlich im Westfeld sowie in den Grubenbauen der 7. Sohle im Südfeld ist ein Löserfall mit Freisetzung radioaktiver Stoffe zu unterstellen (Ereignis der Störfallklasse 1). Bei einer Beaufschlagung der im Versuchsbereich zur Durchsumpfung 1 östlich eingelagerten radioaktiven Abfälle mit gleichzeitiger Beschädigung der Abschlussmauer werden die Störfallplanungswerte des § 49 Abs. 1 StrlSchV nur zu einem Bruchteil von $2 \cdot 10^{-9}$ ausgeschöpft. Der maßgebende Störfallplanungswert ist der für die effektive Dosis (50 mSv) für eine Referenzperson der Altersgruppe 0 bis 1 Jahr. Zugrunde gelegt wurden dabei

- das nuklidspezifische Inventar des Versuchsbereichs zur Durchsumpfung 1 östlich im Westfeld (1/300 des Inventars der Durchsumpfungsrube aus Tab. 2.1-3, siehe Kap. 3.4.1),
- die Freisetzunganteile am Störfallort je Partikelgrößenfraktion ($9,1 \cdot 10^{-10}$ für $0 \dots 1 \mu\text{m}$; $2,0 \cdot 10^{-8}$ für $1 \dots 5 \mu\text{m}$; $5,1 \cdot 10^{-8}$ für $5 \dots 10 \mu\text{m}$; $1,5 \cdot 10^{-7}$ für $10 \dots 20 \mu\text{m}$; $4,3 \cdot 10^{-7}$ für $20 \dots 40 \mu\text{m}$; $8,0 \cdot 10^{-7}$ für $40 \dots 70 \mu\text{m}$; $9,1 \cdot 10^{-7}$ für $70 \dots 100 \mu\text{m}$),
- die Freisetzunganteile je Partikelgrößenfraktion infolge der Abscheidung zwischen dem Störfallort und dem Abwetterschlot (100 % für $0 \dots 1 \mu\text{m}$; 92 % für $1 \dots 5 \mu\text{m}$; 28 % für $5 \dots 10 \mu\text{m}$; 24 % für $10 \dots 20 \mu\text{m}$; 9 % für $20 \dots 40 \mu\text{m}$; 0,5 % für $40 \dots 70 \mu\text{m}$; 0 % für $> 70 \mu\text{m}$) und
- der Freisetzungspfad über den Abwetterschlot am Schacht Bartensleben.

Der nuklidspezifische und partikelgrößenabhängige Quellterm am Störfallort wird durch Multiplikation des nuklidspezifischen Inventars (erster Spiegelstrich) mit den Freisetzunganteilen am Störfallort je Partikelgrößenfraktion (zweiter Spiegelstrich) erhalten. Der nuklidspezifische und partikelgrößenabhängige Quellterm am Freisetzungsort in die Umgebung wird durch weitere Multiplikation mit den Freisetzunganteilen je Partikelgrößenfraktion infolge der Abscheidung (vorletzter Spiegelstrich) erhalten.

Dieses Störfallszenarium ist für einen Löserfall in der Durchsumpfungsrube abdeckend.

Eine Erhöhung der Konzentration radioaktiver Stoffe in den Abwettern aus den Grubenbauen der 7. Sohle wurde bislang nicht registriert. Löserfälle sind auf der 7. Sohle in der Vergangenheit aufgetreten und sind auch zukünftig nicht

auszuschließen. Aufgrund der langen Strecke bis zu den bewetterten Bereichen der 4. Sohle und des durch die Befahrung bestätigten begrenzten Wetteraustausches mit den Grubenbauen der 7. Sohle (im Wesentlichen infolge von Druckschwankungen der Grubenwetter, z. B. verursacht durch Treiben der Schachtförderanlage) lagern sich die durch Löserfälle gebildeten Aerosole ab. Ein unter Störfallgesichtspunkten signifikanter Transport radioaktiver Aerosole in die bewetterten Grubenbereiche ist daher auch vor einem von oben erfolgenden Verschließen der Unterwerksbaue durch Barrieren aus Salzbeton nicht zu besorgen.

Bei einer Beaufschlagung der Lösungen bzw. eingetrockneter Lösungsreste in den Grubenbauen der 7. Sohle im Südfeld werden die Störfallplanungswerte des § 49 Abs. 1 StrlSchV maximal zu einem Bruchteil von $1 \cdot 10^{-8}$ ausgeschöpft. Der maßgebende Störfallplanungswert ist der für die effektive Dosis (50 mSv) für eine Referenzperson der Altersgruppe 0 bis 1 Jahr. Zugrunde gelegt wurden dabei

- 1/3 des nuklidspezifischen Inventars der Lösungen bzw. eingetrockneter Lösungsreste in den Grubenbauen der 7. Sohle im Südfeld aus Tab. 3.4-2 (abdeckende Annahme bei der räumlichen Ausdehnung der Flüssigabfälle),
- die Freisetzungsteile am Störfallort je Partikelgrößenfraktion ($3,3 \cdot 10^{-11}$ für $0 \dots 1 \mu\text{m}$; $1,0 \cdot 10^{-9}$ für $1 \dots 5 \mu\text{m}$; $3,1 \cdot 10^{-9}$ für $5 \dots 10 \mu\text{m}$; $1,1 \cdot 10^{-8}$ für $10 \dots 20 \mu\text{m}$; $3,5 \cdot 10^{-8}$ für $20 \dots 40 \mu\text{m}$; $7,3 \cdot 10^{-8}$ für $40 \dots 70 \mu\text{m}$; $9,1 \cdot 10^{-8}$ für $70 \dots 100 \mu\text{m}$),
- keine Abscheidung zwischen dem Störfallort und dem bewetterten Ostquerschlag der 4. Sohle (abdeckende Annahme), der zuletzt verfüllt wird,
- die Freisetzungsteile je Partikelgrößenfraktion infolge der Abscheidung zwischen dem Ostquerschlag der 4. Sohle und dem Abwetterschlot (100 % für $0 \dots 1 \mu\text{m}$; 71 % für $1 \dots 5 \mu\text{m}$; 0,5 % für $5 \dots 10 \mu\text{m}$; 0 % für $> 10 \mu\text{m}$) und
- der Freisetzungspfad über den Abwetterschlot am Schacht Marie.

Der nuklidspezifische und partikelgrößenabhängige Quellterm am Störfallort wird durch Multiplikation des nuklidspezifischen Inventars (erster Spiegelstrich) mit den Freisetzungsteilen am Störfallort je Partikelgrößenfraktion (zweiter Spiegelstrich) erhalten. Der nuklidspezifische und partikelgrößenabhängige Quellterm am Freisetzungsort in die Umgebung wird durch weitere Multiplikation mit den Freisetzungsteilen je Partikelgrößenfraktion infolge der Abscheidung (vorletzter Spiegelstrich) erhalten.

Es ist deshalb auch künftig davon auszugehen, dass eine störfallbedingte Freisetzung radioaktiver Stoffe infolge eines Löserfalls in den Grubenbauen der 7. Sohle die Störfallplanungswerte des § 49 Abs. 1 StrlSchV um mindestens acht Größenordnungen (Faktor 100 Millionen) unterschreitet.

Instantane Freisetzung flüchtiger radioaktiver Stoffe

Vorsorge gegen eine Akkumulation flüchtiger radioaktiver Stoffe (im Wesentlichen H-3, C-14, Rn-222 und Folgeprodukte) in den Wettern der unversetzten bzw. nicht vollständig versetzten Einlagerungsgrubenbaue oder Funktionsräume und ihre instantane Freisetzung infolge eines plötzlichen Integritätsverlustes (Undichtwerdens) einer Rückhaltebarriere (z. B. einer Abschlussmauer oder einer Abdichtung eines Sohlenlochs) ist durch mindestens eine der folgenden diversitären Maßnahmen oder Eigenschaften getroffen:

- Hohlraumreduzierung durch Versatzmaterial zwecks Minimierung des zur Akkumulation in den Wettern verfügbaren Volumens im
 - Südfeld: Abbaue 1, 2 und 3,
 - Westfeld: Einlagerungsgrubenbaue des Westfelds 1 und 2,
- Bewetterung der unversetzten bzw. nicht vollständig versetzten Grubenbaue im
 - Nordfeld: Randbereich,
 - Zentralteil: Einlagerungsgrubenbaue unterhalb der 4a-Sohle,
 - Südfeld: Lager- und Konditionierungsbereich für flüssige radioaktive Abfälle, Räume des betrieblichen Strahlenschutzes und sonstige Einsatzorte der Strahlenquellen,
 - Westfeld: Westgesenk B, Lagerort für betriebliche Abfälle,
 - Ostfeld: Abbau 2,
 - UMF: Einlagerungsgrubenbau sowie an
 - Einsatzorten potenziell kontaminierter Anlagenteile der Bewetterungstechnik außerhalb der Einlagerungsbereiche,
- Eigenschaften des Abfallproduktes, derart geringe Mengen an flüchtigen radioaktiven Stoffen freizusetzen, dass eine Akkumulation angesichts der Durchlässigkeit der Rückhaltebarrieren, die einen Wetteraustausch mit den bewetterten Grubenbereichen begrenzen aber nicht verhindern (der Wetteraustausch findet im Wesentlichen durch Luftdruckschwankungen statt), und des radioaktiven Zerfalls dieser Stoffe nicht zu besorgen ist.
 - Zentralteil: Einlagerungsgrubenbaue unterhalb der 4a-Sohle (Abfälle innerhalb sowie betriebliche Abfälle oberhalb der Versatzschicht), Durchsumpfungsräume,
 - Südfeld: Abbau 3, Grubenbaue der 7. Sohle, Lager- und Konditionierungsbereich für flüssige radioaktive Abfälle, Räume des betrieblichen Strahlenschutzes und sonstige Einsatzorte der Strahlenquellen,
 - Westfeld: Westgesenk B, Lagerort für betriebliche Abfälle, Versuchsbereiche zur Durchsumpfung,

- UMF: Einlagerungsgrubenbau, Sohlenbohrlöcher sowie an
- Einsatzorten potenziell kontaminierter Anlagenteile der Bewetterungstechnik außerhalb der Einlagerungsbereiche,
- adsorbierende Wirkung der Aktivkohle im Abfallprodukt und Verschließen des Sohlenlochs mit einem abdichtenden Betondeckel im
 - Ostfeld: Einlagerungsgrubenbau mit Radiumfass.

Eine instantane Freisetzung flüchtiger radioaktiver Stoffe infolge eines Undichtwerdens einer Rückhaltebarriere ist deshalb auch vor einem allseitigen Verschließen der Einlagerungsgrubenbaue und der Funktionsräume durch Barrieren aus Salzbeton oder anderen geeigneten Materialien nicht zu besorgen (Ereignis der Störfallklasse 2).

Lediglich in den Einlagerungsgrubenbauten im Nordfeld und dem abgeschlossenen, unversetzten Bremsberg im Westfeld (Strecke aus den Abbauen 3 und 4 auf der 4. Sohle zu den Grubenbauten auf der 3. Sohle) ist eine Akkumulation flüchtiger radioaktiver Stoffe in den Wettern möglich. Bei einer störfallbedingten Beschädigung einer Abschlussmauer ist eine instantane Freisetzung von Wettern mit den akkumulierten flüchtigen radioaktiven Stoffen zu unterstellen (Ereignis der Störfallklasse 1). Im Westfeld werden die Störfallplanungswerte des § 49 Abs. 1 StrlSchV bei diesem Ereignis nur zu einem Bruchteil von $1 \cdot 10^{-4}$ ausgeschöpft. Der maßgebende Störfallplanungswert ist der für die effektive Dosis (50 mSv) für eine Referenzperson der Altersgruppe 1 bis 2 Jahre. Zugrunde gelegt wurden dabei

- das maximal akkumulierbare Inventar an flüchtigen radioaktiven Stoffen in den Wettern des Bremsberges im Westfeld aus Kap. 4.1,
- die chemische Zusammensetzung der flüchtigen radioaktiven Stoffe mit 80 % $^{14}\text{CO}_2$, 20 % $^{14}\text{CH}_4$ und 100 % HTO (0 % HT),
- keine Abscheidung der flüchtigen radioaktiven Stoffe zwischen dem Störfallort und dem Abwetterschlot und
- der Freisetzungspfad über den Abwetterschlot am Schacht Bartensleben.

Der nuklidspezifische und von der chemischen Zusammensetzung abhängige Quellterm am Störfallort wird durch Multiplikation des nuklidspezifischen Inventars (erster Spiegelstrich) mit den Anteilen der jeweiligen chemischen Spezies (zweiter Spiegelstrich) erhalten. Der Quellterm am Freisetzungsort in die Umgebung ist mit dem am Störfallort identisch.

Für das Nordfeld ist das Störfallszenarium im Westfeld abdeckend.

Deflagration zündfähiger Gasgemische

Eine Deflagration zündfähiger Gasgemische setzt voraus, dass

- eine Bildung zündfähiger Gase mit hinreichender Rate erfolgt, um ein zündfähiges Gasgemisch zu erzeugen (Überschreiten der Zündgrenze für zündfähige Gase, z. B. H_2),
- eine Zündquelle existiert,
- genügend Sauerstoff vorhanden ist, um ein zündfähiges Gasgemisch zu erzeugen (Überschreiten der Zündgrenze für O_2) und
- ein hinreichend großes zusammenhängendes Volumen vorhanden ist, um eine sich selbsterhaltende Deflagration zu ermöglichen.

Unter Endlagerbedingungen wird die Bildung zündfähiger Gase durch Wasserstoffbildung infolge der Korrosion von eisenhaltigen Metallen dominiert. Andere Bildungsmechanismen spielen eine untergeordnete Rolle. Die Zündgrenzen für die Deflagration eines Wasserstoff-Luft-Gemisches liegen im ungünstigsten Fall bei 4 % H_2 bzw. 8 % O_2 . Da für dieses Gemisch nur eine geringe Zündenergie erforderlich ist, wird das Vorhandensein einer Zündquelle unterstellt.

In sauerstoffhaltigen Wettern findet keine unter Störfallgesichtspunkten signifikante Wasserstoffbildung infolge der Korrosion von eisenhaltigen Metallen statt. Nach einem allseitigen Verschließen solcher Einlagerungsgrubenbaue und Funktionsräume, die nicht verfüllt werden, von den bewetterten Grubenbereichen durch Barrieren aus Salzbeton oder anderen geeigneten Materialien erfolgt wegen der fehlenden Nachlieferung zunächst ein Sauerstoffabbau bis deutlich unter die Zündgrenze von 8 %. Erst bei Konzentrationen unterhalb ca. 1 % Sauerstoff wird Wasserstoff vermehrt gebildet. Eine Zündung ist bei diesen Sauerstoffkonzentrationen nicht mehr möglich. Im Folgenden werden deshalb die Zeiträume vor und nach dem Verschließen der Einlagerungsgrubenbaue und der Funktionsräume separat betrachtet.

a) Zeitraum vor dem Verfüllen oder einem allseitigen Verschließen der Einlagerungsgrubenbaue und der Funktionsräume

Vorsorge gegen eine Bildung und Deflagration von zündfähigen Gasgemischen (im Wesentlichen Wasserstoff/Luft-Gemische) in unversetzten bzw. nicht vollständig versetzten Einlagerungsgrubenbauen oder Funktionsräumen ist durch mindestens eine der folgenden diversitären Maßnahmen oder Eigenschaften getroffen:

- Eigenschaften des Abfallproduktes, derart geringe Mengen zündfähiger Gase zu bilden, dass eine Akkumulation bis zum Erreichen der Zündgrenze nicht zu besorgen ist im

- Zentralteil: Durchsumpfungsrube,
- Südfeld: Abbau 3, Grubenbaue der 7. Sohle, Radionuklid-Laborplatz (Stoffe und Chemikalien),
- Westfeld: Westgesenk B, Versuchsbereiche zur Durchsumpfung,
- Sauerstoffgehalt der Wetter in den Einlagerungsgrubenbauen und den Funktionsräumen in Kombination mit den Eigenschaften des Abfallproduktes, in sauerstoffhaltigen Wettern zündfähige Gase in derart geringen Mengen zu bilden, dass eine Akkumulation bis zum Erreichen der Zündgrenze nicht zu besorgen ist im
 - Zentralteil: Einlagerungsgrubenbaue unterhalb der 4a-Sohle,
 - Südfeld: Lager- und Konditionierungsbereich für flüssige radioaktive Abfälle, Räume des betrieblichen Strahlenschutzes und sonstige Einsatzorte der Strahlenquellen,
 - Westfeld: Lagerort für betriebliche Abfälle, Bremsberg,
 - Ostfeld: Abbau 2,
 - UMF: Einlagerungsgrubenbau,
 - Bereich von Einsatzorten potenziell kontaminierter Anlagenteile der Bewetterungstechnik außerhalb der Einlagerungsbereiche,
- Hohlraumreduzierung durch Versatzmaterial zum Ausschluss einer sich selbsterhaltenden Deflagration im
 - Südfeld: Abbaue 1, 2 und 3,
 - Westfeld: Einlagerungsgrubenbaue des Westfelds 1 und 2,
- Bewetterung der unversetzten bzw. nicht vollständig versetzten Einlagerungsgrubenbaue und Funktionsräume im
 - Nordfeld: Randbereich,
 - Zentralteil: Einlagerungsgrubenbaue unterhalb der 4a-Sohle,
 - Südfeld: Lager- und Konditionierungsbereich für flüssige radioaktive Abfälle, Räume des betrieblichen Strahlenschutzes und sonstige Einsatzorte der Strahlenquellen,
 - Westfeld: Westgesenk B, Lagerort für betriebliche Abfälle,
 - Ostfeld: Abbau 2,
 - UMF: Einlagerungsgrubenbau,
 - Bereich von Einsatzorten potenziell kontaminierter Anlagenteile der Bewetterungstechnik außerhalb der Einlagerungsbereiche,

Eine Freisetzung radioaktiver Stoffe infolge einer Deflagration ist deshalb auch vor einem allseitigen Verschließen der Einlagerungsgrubenbaue und der

Funktionsräume durch Barrieren aus Salzbeton oder anderen geeigneten Materialien nicht zu besorgen (Ereignis der Störfallklasse 2).

b) Zeitraum nach einem allseitigen Verschließen der Einlagerungsgrubenbaue und der Funktionsräume

Es ist nicht vorgesehen, in den Einlagerungsbereichen sämtliche unversetzte bzw. nicht vollständig versetzte Grubenbaue und Funktionsräume vollständig mit Salzbeton zu verfüllen. Unverfüllt bleiben im Wesentlichen die folgenden Grubenbaue im

- Nordfeld: Einlagerungsgrubenbaue,
- Zentralteil: Durchsumpfungsrube,
- Südfeld: Unterwerksbaue,
- Westfeld: Bremsberg, Versuchsbereiche zur Durchsumpfung.

Nach einem allseitigen Verschließen dieser Grubenbaue durch Barrieren aus Salzbeton oder anderen geeigneten Materialien ist Vorsorge gegen eine Freisetzung radioaktiver Stoffe infolge einer Bildung und Deflagration von zündfähigen Gasmischungen durch mindestens eine der folgenden diversitären Maßnahmen oder Eigenschaften getroffen:

- Eigenschaften des Abfallproduktes, derart geringe Mengen zündfähiger Gase zu bilden, dass eine Akkumulation bis zum Erreichen der Zündgrenze nicht zu besorgen ist im
 - Zentralteil: Durchsumpfungsrube,
 - Südfeld: Unterwerksbaue,
 - Westfeld: Versuchsbereiche zur Durchsumpfung,
- Eigenschaften des Abfallproduktes, in sauerstoffhaltigen Wettern derart geringe Mengen zündfähiger Gase zu bilden, dass eine Akkumulation bis zum Erreichen der Zündgrenze nicht zu besorgen ist im
 - Nordfeld: Einlagerungsgrubenbaue,
 - Westfeld: Bremsberg,
- Barrierenwirkung eines allseitigen Verschlusses der Grubenbaue in den Einlagerungsbereichen und der Funktionsräume durch Barrieren aus Salzbeton oder anderen geeigneten Materialien gegen eine Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Grubenwetter der noch offenen Bereiche.

Eine Freisetzung radioaktiver Stoffe infolge einer Deflagration ist daher auch nach einem allseitigen Verschließen der Grubenbaue in den Einlagerungsbereichen und

der Funktionsräume durch Barrieren aus Salzbeton oder anderen geeigneten Materialien nicht zu besorgen (Ereignis der Störfallklasse 2).

Sonstige im Einzelfall zu betrachtende anlageninterne Ereignisse

Störfälle im Lager- und Konditionierungsbereich für flüssige radioaktive Abfälle

Vorsorge gegen Freisetzungen, z. B. infolge von Leckagen aus den Lager- und Konditionierungseinrichtungen für flüssige radioaktive Abfälle, ist durch Folgendes getroffen:

- Bodenwannen unterhalb der EDR-Tanks und der Pumpen und Armaturen,
- Abtropfschale und Abdichtglocke der Konditionierungsanlage,
- Verdeckelung der Fässer mit den konditionierten Abfällen beim Transport aus dem Abfüllraum zum Aushärteplatz im Dekontaminationsraum.

Eine störfallbedingte Freisetzung radioaktiver Stoffe bei der Handhabung von flüssigen radioaktiven Abfällen ist deshalb nicht zu besorgen (Ereignis der Störfallklasse 2).

Korrosionsbedingtes Versagen einer Rohrtour im UMF

Sohlenbohrloch A2: Der untere Teil der Rohrtour A2 hängt in einer Länge von ca. 5,5 m im Bohrloch frei am Flansch. Das untere Ende der Rohrtour befindet sich ca. 8,5 m oberhalb des Bohrlochbodens. Aufgrund von Korrosion ist nicht auszuschließen, dass der untere Teil der Rohrtour an einer der Schweißnähte abreißt und mit den darin enthaltenen radioaktiven Abfällen abstürzt. Vorsorge gegen eine Freisetzung radioaktiver Stoffe ist durch die folgenden diversitären Maßnahmen getroffen:

- Einstellen der radioaktiven Abfälle (Strahlenquellen) in Spezialcontainer,
- Verschluss des Bohrlochs mit einem speziellen Bohrlochstopfen,
- Abdeckung des Bohrlochs mit einer Stahlplatte.

Eine Freisetzung radioaktiver Stoffe aus dem Sohlenbohrloch infolge dieses Ereignisses ist deshalb auch vor dem Verschließen des Sohlenbohrlochs durch eine Barriere aus Salzbeton (durch die Verfüllung des UMF) nicht zu besorgen (Ereignis der Störfallklasse 2).

Sohlenbohrloch A1: Das obige Störfallszenarium ist für die Rohrtour A1 abdeckend, da diese in einer Länge von nur ca. 1 m im Bohrloch frei am Flansch hängt und lediglich ca. 0,2 m auf den Boden des Bohrlochs abstürzen könnte.

Störfälle im Laborcontainer zur Umgebungsüberwachung

Es sind ausreichende Vorsorgemaßnahmen getroffen, um Störfälle mit Freisetzung radioaktiver Stoffe aus dem Laborcontainer zur Umgebungsüberwachung über Tage zu vermeiden (u. a. einen selbstentzündenden Brand, thermische, mechanische und explosive Einwirkungen, eine instantane Freisetzung flüchtiger radioaktiver Stoffe sowie eine Deflagration zündfähiger Gasgemische). Infolge eines Störfalls im Laborcontainer über Tage ist aufgrund der Begrenzung des dort vorhandenen Inventars an radioaktiven Stoffen eine so geringe Freisetzung am Störfallort zu besorgen, dass das Ereignis kein Störfall i. S. des § 3 Abs. 2 Nr. 28 StrlSchV ist (Ereignis der Störfallklasse 2). Das Flugzeugabsturz-Szenarium deckt dieses Störfallszenarium ab.

Ferneinwirkungen auf Einlagerungsgrubenbaue und Funktionsräume

Thermische und mechanische Beaufschlagungen

Vorsorge gegen thermische und mechanische Beaufschlagungen der eingelagerten radioaktiven Abfälle sowie der radioaktiven und potenziell kontaminierten betrieblichen Abfälle und Stoffe durch Ferneinwirkungen auf die Einlagerungsgrubenbaue oder die Funktionsräume ist durch eine Kombination der folgenden, diversitären Maßnahmen getroffen:

- bauliche Ausführung (z. B. unbrennbare, elektrostatisch nicht aufladbare Ausführung und Ausstattung, Abtrennung durch Mauern, Brandschutztore, Brandschutztüren, Brandklappen, unterbrochene Streckenführung), Firstsicherung (z. B. durch regelmäßige Kontrollen und Beraubung bei Bedarf) und räumliche Entfernung folgender Funktionsräume bzw. Orte von den Einlagerungsgrubenbauen und den Funktionsräumen mit radioaktiven Stoffen:
 - Öl- und Diesellager mit Betankungsstelle,
 - Sprengmittellager,
 - Sprengorte,
 - Fahrzeugstellplatz im Abbau 3s auf der 4. Sohle,
 - Zentralwerkstatt,

- Füllort Bartensleben auf der 4. Sohle,
- Schacht Bartensleben,
- Begrenzung der Lagerkapazität von brennbaren Betriebsmitteln und der Sprengmittelmenge sowie betrieblich geregelter Zugang zu und Umgang mit Gefahrstoffen:
 - Öl- und Diesellager und Betankungsstelle,
 - Betriebsmitteltransporte,
 - Sprengmittellager,
 - Sprengorte,
 - Zentralwerkstatt,
- Brandschutzmaßnahmen und kontrollierte Entwitterung in den Einlagerungsbereichen bzw. den mit Fahrzeugen befahrbaren Grubenbauen,
- Ausrüstung der Fahrzeuge und betrieblich geregelter Umgang mit Fahrzeugen:
 - Beaufsichtigung abgestellter Fahrzeuge (außer auf dafür vorgesehenen Abstellplätzen: Fahrzeugstellplatz im Abbau 3s auf der 4. Sohle, Zentralwerkstatt, Füllort Bartensleben auf der 4. Sohle),
 - Einhaltung eines Mindestabstandes von 3 m zur Vermeidung einer Brandübertragung zwischen unbeaufsichtigt parkenden Fahrzeugen,
 - Trennen der Batterien vom Bordnetz (durch Betätigung des Batterie Hauptschalters) bei abgestellten Fahrzeugen,
 - Ausrüstung der Fahrzeuge mit Feuerlöschern,
 - regelmäßige Wartung und Prüfung der Fahrzeuge,
- Brandschutzkunde des Personals,
- Vorhalten und ständige Verfügbarkeit der Grubenwehr.

Eine Freisetzung radioaktiver Stoffe infolge von Fernwirkungen ist deshalb auch vor einem allseitigen Verschließen der Einlagerungsgrubenbaue und der Funktionsräume durch Barrieren aus Salzbeton oder anderen geeigneten Materialien nicht zu besorgen (Ereignisse der Störfallklasse 2).

5.3.2 Ereignisse durch naturbedingte und sonstige Einwirkungen von außen

In Anlehnung an die „Leitlinien zur Beurteilung der Auslegung von Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktoren gegen Störfälle im Sinne des § 28 Abs. 3 StrlSchV (Störfall-Leitlinien)“ (Anmerkung: § 49 StrlSchV ersetzt aufgrund der Novellierung vom 20.07.2001 den § 28 StrlSchV alter Fassung) werden folgende Einwirkungen

von außen auf das Endlager betrachtet: naturbedingte Einwirkungen durch Zutritt von Schachtwässern und wässrigen Salzlösungen in das Grubengebäude, Erdbeben, Hochwasser, Sturm, Eis und Schnee, Blitzschlag sowie sonstige Einwirkungen durch Explosionsdruckwelle, Ansaugen von zündfähigen und toxischen Gasen und Flugzeugabsturz.

Zutritt von Schachtwässern und wässrigen Salzlösungen in das Grubengebäude

Durch einen Zutritt von Schachtwässern oder wässrigen Salzlösungen in das Grubengebäude könnten die vorgesehenen Verfüll- und Verschlussmaßnahmen beeinträchtigt werden.

Um dies zu vermeiden, werden anfallende Schachtwässer gefasst und den Sammelbecken unter Tage zugeführt. Anlagen zur Hebung der Schachtwässer werden über den gesamten Stilllegungsbetrieb bis zum Abschluss der Schachtverfüllung betrieben. Dadurch werden ein Zutritt von Schachtwässern in die Einlagerungsgrubenbaue und eine untertägige Freisetzung kontaminierter Lösungen ausgeschlossen.

Technisch nicht mehr beherrschbare Zutritte wässriger Salzlösungen in das Grubengebäude sind nur bei einer hydraulisch wirksamen Verbindung zu grundwasserführenden Gesteinen des Deck- oder Nebengebirges der Salzstruktur möglich. Wässrige Salzlösungen, die in den Gesteinen der Salzstruktur eingeschlossen sind und keine hydraulisch wirksame Verbindung zu grundwasserführenden Gesteinen des Deck- oder Nebengebirges der Salzstruktur haben, sind mengenmäßig auf maximal zehntausend Kubikmeter beschränkt. Sollten Verbindungen zwischen diesen begrenzten Vorkommen und dem Grubengebäude entstehen und die wässrigen Salzlösungen in das Grubengebäude fließen, ginge von ihnen keine Gefährdung für das Endlager und die vorgesehenen Verfüll- und Verschlussmaßnahmen aus, da diese Zutritte technisch beherrschbar sind. Eine untertägige Freisetzung kontaminierter Lösungen wäre nicht zu besorgen. Deshalb brauchen sie unter diesen Aspekten nicht weiter betrachtet zu werden.

Käme es im Bereich des Lagers H (die einzige Zutrittsstelle mit Wasseranteil aus dem Deckgebirge der Salzstruktur, siehe Kapitel 1.3.5) zu einem größeren, längeren Zutritt wässriger Salzlösungen, könnten diese über Rohrleitungen in tiefer liegende Grubenbaue des Grubengebäudes Marie mit einem Speichervolumen von mehreren 10.000 m³ unschädlich abgeleitet werden. Bei Bedarf könnte während dieser Zeit durch den Bau von bergbauüblichen Dämmen bzw. Dammtoren in vier Strecken der Nordbereich der Grube Marie mit der Zutrittsstelle im Bereich des Lagers H temporär hydraulisch wirksam vom übrigen Grubengebäude getrennt werden. Im Schutz dieser Abdämmungsmaßnahmen könnten die Verfüll- und Verschlussmaßnahmen im ERAM wie vorgesehen durchgeführt werden.

In sonstigen Bereichen des Grubengebäudes mit hohem Durchbauungsgrad bzw. geringem Abstand zum Deck- bzw. Nebengebirge gibt es derzeit keine Hinweise auf entstehende hydraulisch wirksame Wegsamkeiten. Ausgewählte Grubenbaue des Zentralteils wurden zur Vermeidung der Entstehung von Wegsamkeiten im Rahmen der bGZ stabilisierend verfüllt.

Ein Zutritt wässriger Salzlösungen aus dem Deck- oder Nebengebirge infolge von Subrosion ist wegen des sehr geringen Fortschreitens der Subrosion (siehe Kapitel 1.3.5) während des Stilllegungsbetriebes nicht zu besorgen.

Erdbeben

Die erforderliche Vorsorge ist getroffen, um den sicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle im Falle eines Erdbebens zu gewährleisten.

Als Bemessungserdbeben wurde für den Standort die Intensität von VI-VII (°MSK) nach dem Stand von Wissenschaft und Technik abgeleitet. Ein Erdbeben dieser Intensität ist definitionsgemäß ein schwaches Erdbeben, bei dem größere Schäden nicht zu erwarten sind. Es ist weiter bekannt, dass bei untertägigen Anlagen die Erdbebenauswirkungen nur von untergeordneter Bedeutung sind.

Für die Auslegung der übertägigen Anlagen, in denen mit Ausnahme des Laborcontainers während des Stilllegungsbetriebes keine radioaktiven Stoffe gehandhabt werden, ist die Norm DIN 4149, Teil 1 als Technische Baubestimmung im Land Sachsen-Anhalt verbindlich. Nach dieser Norm ist eine Auslegung der übertägigen Anlagen gegen Erdbeben am Standort Morsleben nicht erforderlich. Die Einwirkungen auf den Laborcontainer über Tage werden durch das Flugzeugabsturz-Szenarium abgedeckt.

Obwohl die Erdbebenauswirkungen bei untertägigen Anlagen gering sind, wird hier der Lastfall Erdbeben betrachtet. Die infolge eines Erdbebens eventuell auftretende Beaufschlagung der eingelagerten radioaktiven Abfälle durch Löserfälle und das Undichtwerden der Abschlussmauern mit einer instantanen Freisetzung von Wetzern mit ggf. akkumulierten flüchtigen radioaktiven Stoffen aus unversetzten bzw. nicht vollständig versetzten Einlagerungsgrubenbauen ist durch die Störfallbetrachtungen (Kapitel 5.3.1) abgedeckt.

Die Standsicherheit der Schächte im Falle eines Erdbebens wurde untersucht und nachgewiesen. Der Nachweis der ausreichenden Bemessung des Schachtausbaus erfolgt in Anlehnung an KTA 2201.3. Die dynamische Beanspruchung des Ausbaus wurde durch Modellrechnungen ermittelt. Das umgebende Gebirge wurde in das Berechnungsmodell aufgenommen, um die Wechselwirkung zwischen Ausbau und Gebirge zu erfassen und die Energieabstrahlung in das Gebirge zu berücksichtigen. Die maximalen Beanspruchungen des Ausbaus infolge Erdbeben wurden

teufenabhängig ermittelt. Es wurde nachgewiesen, dass keine Spannungs- und Verformungszustände auftreten, die zu einem Stabilitätsverlust des Ausbaus führen.

Hochwasser

Bei der Betrachtung des Hochwassers ist es von Bedeutung, ob es zur Überschwemmung und zum Eindringen von Wasser über die Schächte in das Grubengebäude kommen kann.

Bei dem während des Stilllegungsbetriebes zu unterstellenden höchsten Wasserstand liegt die von der Aller verursachte Überschwemmungsfläche deutlich entfernt von und unterhalb der Betriebsgelände der Schachtanlagen (Kapitel 1.1.5). Das Eindringen von Wasser über die Schächte Bartensleben und Marie in die Grubengebäude infolge eines Hochwassers ist deshalb ausgeschlossen. Ein Eintritt des Hochwassers in den oberhalb des Schachtes Bartensleben gelegenen Laborcontainer über Tage ist ebenfalls ausgeschlossen.

Sturm, Eis und Schnee, Blitzschlag

Die überetägigen Anlagen sind gegen diese Einwirkungen nach konventionellen Anforderungen ausgelegt.

Eine Beaufschlagung der unter Tage eingelagerten radioaktiven Abfälle durch derartige Ereignisabläufe, die überetägig stattfinden, ist ausgeschlossen. Die Einwirkungen auf den Laborcontainer über Tage werden durch das Flugzeugabsturz-Szenarium abgedeckt.

Explosionsdruckwelle

Aufgrund der zu berücksichtigenden Massen explosionsfähiger Stoffe (LKW 35 t, Eisenbahnwaggon 80 t, größter durch Absperrventile begrenzter Abschnitt der angrenzenden erdverlegten Erdgasleitung 5 kg) und der vorhandenen Sicherheitsabstände des Schachtes Bartensleben zu den nächstgelegenen Gefahrguttransportwegen (Landstraße Morsleben-Beendorf: 265 m, Bundesstraße 1: 340 m, Bundesautobahn 2: 1.160 m, Eisenbahnverbindung Magdeburg-Braunschweig: 1.600 m, erdverlegte Erdgasleitung: 240 m) sind keine Explosionsdruckwellen zu unterstellen, die radioaktive Stoffe aus den Einlagerungsgrubenbauen und den Funktionsräumen unter Tage freisetzen könnten.

Der Laborcontainer über Tage ist nicht nach Ziffer III der Richtlinie für den Schutz von KKW gegen Druckwellen aus chemischen Reaktionen ausgelegt. Zum Ausschluss von explosionsbedingten Einwirkungen reicht deshalb die Angabe der Sicherheitsabstände zu den nächstgelegenen Gefahrguttransportwegen nicht aus. Die Einwirkungen auf den Laborcontainer über Tage werden durch das Flugzeugabsturz-Szenarium abgedeckt.

Ansaugen zündfähiger und toxischer Gase

Angesaugte zündfähige Gase können im Grubengebäude oder im Laborcontainer über Tage deflagrieren. Angesaugte toxische Gase können einen Unfall verursachen (z. B. Kollision eines außer Kontrolle geratenen Grubenfahrzeugs mit Fahrzeugbrand oder Handhabungsfehler im Laborcontainer über Tage). Infolge beider Szenarien ist eine Beaufschlagung der radioaktiven Abfälle bzw. der radioaktiven und potenziell kontaminierten betrieblichen Abfälle und Stoffe in den Einlagerungsgrubenbauen oder den Funktionsräumen unter Tage oder der radioaktiven Stoffe im Laborcontainer über Tage zu unterstellen.

Bei einem Unfall mit Gefahrguttransporten können zündfähige oder toxische Gase freigesetzt werden. Es wird davon ausgegangen, dass sich ein derartiger Unfall nicht unbemerkt ereignen kann. Durch wettertechnische Maßnahmen (z. B. Schließen der Brandklappen am Wettereinlass und Abschaltung des Hauptgrubenlüfters bzw. Schließen der Fenster des Laborcontainers über Tage und Abschalten seiner Lüftungsanlage und des Laborabzugs) und die auftretende Verdünnung bei den vorhandenen Sicherheitsabständen des Schachtes Bartensleben zu den nächstgelegenen Gefahrguttransportwegen (s. o.) wird ein Ansaugen dieser Gase in zündfähiger oder toxischer Konzentration in das Grubengebäude oder den Laborcontainer über Tage vermieden.

An der Geländegrenze des ERAM verläuft eine erdverlegte Erdgasleitung mit Durchmessern von 100 bzw. 150 mm zur Versorgung der umliegenden Häuser. Eine unterstellte unbemerkte Freisetzung von Gas aus dieser Leitung kann bei angenommenen ungünstigsten Ausbreitungsbedingungen zum kurzfristigen Ansaugen über den Frischwetterschacht Bartensleben führen und folglich eine Erdgaskonzentration in den untertägigen Betriebsbereichen bewirken. Infolge der auftretenden Verdünnung auf dem mindestens 240 m langen Weg vom Ort der Gasfreisetzung bis zum Frischwetterschacht wird die Explosionsgrenze jedoch unterschritten, so dass Auswirkungen auf das Grubengebäude nicht zu besorgen sind. Dies gilt auch für den Laborcontainer über Tage. Ferner wird das Ansaugen von Erdgas in das Grubengebäude durch Gasmessstationen bereits bei 1 % der Zündgrenze detektiert (mit Alarm oberhalb 10 % der Zündgrenze) und die o. g. wettertechnischen Maßnahmen werden bei Bedarf eingeleitet.

Flugzeugabsturz

In Anlehnung an die Störfall-Leitlinien für Druckwasserreaktoren wird das Ereignis Flugzeugabsturz für ein Endlager für radioaktive Abfälle nicht als Auslegungsstörfall herangezogen. Eine Auslegung der übertägigen Anlagen des ERAM gegen Flugzeugabsturz ist daher nicht erforderlich.

Unabhängig davon sind in den übertägigen Betriebsbereichen radioaktive Stoffe nur noch im Laborcontainer zur Umgebungsüberwachung vorhanden. Eine aus einem Flugzeugabsturz ggf. resultierende Beaufschlagung des Laborcontainers führt aufgrund einer Begrenzung des dort vorhandenen Inventars an radioaktiven Stoffen zu einer so geringen Freisetzung am Störfallort, dass das Ereignis kein Störfall i. S. des § 3 Abs. 2 Nr. 28 StrlSchV ist. Bei einem aus einem Flugzeugabsturz ggf. resultierenden Brand mit thermischer Beaufschlagung der dort vorliegenden radioaktiven Stoffe werden die Störfallplanungswerte des § 49 Abs. 1 StrlSchV nur zu einem Bruchteil von $7 \cdot 10^{-6}$ ausgeschöpft. Der maßgebende Störfallplanungswert ist der für die Knochenoberfläche (300 mSv) für eine Referenzperson der Altersgruppe über 17 Jahre. Zugrunde gelegt wurden dabei

- das nuklidspezifische Inventar des Laborcontainers aus Tab. 1.2-2,
- der Freisetzunganteil am Störfallort von 0,01 für nicht-flüchtige radioaktive Stoffe in Feststoffen und von 1 für flüchtige radioaktive Stoffe (im Inventar enthalten sind H-3 und C-14),
- eine Partikelgrößenverteilung bestehend zu 100 % aus der Partikelgrößenfraktion $< 5 \mu\text{m}$,
- keine Abscheidung dieser Partikelgrößenfraktion bis zum Freisetzungsort aus dem Laborcontainer und
- der Freisetzungspfad zu 100 % bodennah aus dem Laborcontainer.

Der nuklidspezifische Quellterm am Störfallort wird durch Multiplikation des nuklidspezifischen Inventars (erster Spiegelstrich) mit dem von der Flüchtigkeit des jeweiligen Nuklids abhängigen Freisetzunganteil am Störfallort (zweiter Spiegelstrich) erhalten. Der Quellterm am Freisetzungsort in die Umgebung ist mit dem am Störfallort identisch.

Dieses Störfallszenarium ist abdeckend für alle sonstigen Ereignisse im Laborcontainer über Tage.

Störmaßnahmen und sonstige Einwirkungen Dritter

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

5.3.3 Kritikalitätsstörfälle

Die im ERAM eingelagerten niedrig- und mittelradioaktiven Abfälle enthalten nur sehr geringe Mengen an Spaltstoffen. Dies ist eine Folge der radionuklidspezifischen Inventarbegrenzungen, die in den Endlagerungsbedingungen festgeschrieben wurden. Die tatsächlich eingelagerten Spaltstoffmassen für die relevanten, durch thermische Neutronen spaltbaren Radionuklide U-233, U-235, Pu-239 und Pu-241 sind in Tab. 5.3-1, Spalte 2 wiedergegeben. Mit Ausnahme von U-235 sind diese Spaltstoffmassen kleiner als die entsprechenden kleinsten kritischen Kugelmassen der jeweiligen reinen Radionuklide bei optimaler Moderation und Reflexion durch Wasser (Tab. 5.3-1, Spalte 3). Im Falle des Radionuklids U-235 ist die Spaltstoffmasse über das Endlager so verteilt, dass in jedem Einlagerungsgrubenbau die kleinste kritische Kugelmasse von 800 g (entspricht $6,4 \cdot 10^7$ Bq) unterschritten wird, siehe Tab. 2.1-3. Die Möglichkeit einer Kritikalität ist daher während des Stilllegungsbetriebes ausgeschlossen.

In dem für die Nachbetriebsphase relevanten Zeitraum kann es infolge des radioaktiven Zerfalls von Pu-239 und anderer höherer Aktiniden zu einer Zunahme des U-235-Inventars kommen. Die Zunahme ist jedoch so gering, dass auch in der Nachbetriebsphase die Möglichkeit einer Kritikalität ausgeschlossen ist.

Tab. 5.3-1: Charakteristische Daten für die Beurteilung der Kritikalitätssicherheit.

Radionuklid	Spaltstoffmasse zu Beginn des Stilllegungsbetriebes in g	kleinste kritische Kugelmasse in g
U-233	< 1	570
U-235	1.030	800
Pu-239	30	510
Pu-241	< 1	260

5.4 LANGZEITSICHERHEIT

Das Endlager wird so verfüllt und verschlossen, dass es auch in Zukunft keine unzulässigen Auswirkungen auf die Umwelt und den Menschen haben wird. Als Genehmigungsvoraussetzung fordert § 9b AtG Abs. 4 in Verbindung mit § 7 Abs. 2 Nr. 3, dass „die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden durch die Errichtung und den Betrieb der Anlage getroffen ist“.

Die StrlSchV trifft keine Regelungen für Strahlenexpositionen, die nach dem Verschluss eines Endlagers in der Umwelt auftreten können. Grundsätzlich gilt das Strahlenschutzprinzip, dass Strahlenexpositionen von Mensch und Umwelt vermieden werden sollen oder so weit wie möglich zu begrenzen und unterhalb der Grenzwerte zu minimieren sind. In den Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk wird gefordert: „Nach Beendigung der Betriebsphase muss das gesamte Endlager sicher gegen die Biosphäre abgeschlossen werden. Auch nach der Stilllegung dürfen Radionuklide, die als Folge von nicht vollständig ausschließbaren Transportvorgängen aus einem verschlossenen Endlager in die Biosphäre gelangen könnten, nicht zu Individualdosen führen, die die Werte des § 45 der StrlSchV überschreiten.“ (Anmerkung: § 47 StrlSchV ersetzt aufgrund der Novellierung vom 20.07.2001 den § 45 der StrlSchV alter Fassung).

In der Langzeitsicherheitsanalyse wird gezeigt, dass der für den Betrieb von Anlagen in § 47 StrlSchV genannte Grenzwert von 0,3 mSv/a für die effektive Dosis einer Einzelperson der Bevölkerung durch die Ableitung radioaktiver Stoffe auch in der Zeit nach dem Verschluss des ERAM nicht überschritten wird. Die Berechnung der Strahlenexposition erfolgt für eine erwachsene Einzelperson in Anlehnung an die Berechnungsvorschriften (AVV) zu § 47 StrlSchV.

Nach den international anerkannten Auffassungen von IAEO und ICRP wird der prognostische Charakter bezüglich der menschlichen und gesellschaftlichen Entwicklung nach einigen 100 Jahren verlassen. Jenseits dieses Zeitraums kann eine berechnete effektive Jahresdosis nur als ein Indikator zur Beurteilung der Entwicklung des Isolationsvermögens eines Endlagers herangezogen werden. In Übereinstimmung mit den internationalen Empfehlungen wird die Berücksichtigung der potenziellen effektiven Jahresdosis für Erwachsene als Indikator zur Beurteilung der Langzeitsicherheit des ERAM als geeignet und ausreichend angesehen.

In konventioneller Hinsicht ist sicherzustellen, dass schädliche Umwelteinwirkungen durch die in den Abfallgebänden auch vorhandenen chemischen Schadstoffe vermieden oder auf ein Mindestmaß beschränkt werden. Das Bergrecht fordert, dass es langfristig nicht zu Senkungen und Schiefstellungen an der Tagesoberfläche kommen darf, die unzulässige Auswirkungen auf Schutzgüter haben können. Hinsichtlich

chemischer Schadstoffe werden als Schutzziele Angaben aus wasserrechtlichen Regelwerken herangezogen.

Für die Erfüllung der oben genannten Forderungen 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 Bartensleben als Endlager nicht berücksichtigt wurde. Dies wird bei der Planung der Verfüll- und Verschließmaßnahmen und beim Langzeitsicherheitsnachweis berücksichtigt.

Ziel der geplanten Maßnahmen zum Verfüllen und Verschließen des ERAM ist in erster Linie, die Integrität der Salzbarriere möglichst aufrecht zu erhalten und einen Lösungszutritt in die Grubengebäude unwahrscheinlich zu machen bzw. zu verzögern und zu behindern. Ein Lösungszutritt in die Grubengebäude und eine anschließende Freisetzung von Schadstoffen aus den Grubengebäuden können aber aufgrund der bergbaulichen Situation nicht vollständig ausgeschlossen werden. Die Verfüll- und Verschließmaßnahmen reduzieren jedoch die Wahrscheinlichkeit eines Lösungszutritts und die Größe eines Schadstoffaustrags aus den Grubengebäuden. Durch in den Grubengebäuden nach Abschluss der Stilllegungsmaßnahmen verbliebene Lösung bzw. eventuell in die verschlossenen Grubengebäude zutretende Lösung kann kontaminierte Lösung durch Konvergenz und Gasproduktion aus den Grubengebäuden ausgepresst werden. Die dabei zu erwartenden Freisetzungsraten sind allerdings gering. Der Transport der Schadstoffe erfolgt zudem so langsam, dass ein Großteil der Radionuklide bereits vor dem Erreichen der Biosphäre zerfallen ist.

Die Langzeitsicherheitsanalyse hinsichtlich der möglichen Auswirkungen der eingelagerten Radionuklide erfolgt vorwiegend über die Ermittlung und Bewertung potenzieller Strahlenexpositionen. Wegen des langen zu betrachtenden Zeitraums und der Großräumigkeit des Endlagersystems werden die Strahlenexpositionen mit Hilfe von Rechenmodellen ermittelt. Dabei wird wie folgt vorgegangen:

- Identifikation von Szenarien, für die Modellrechnungen durchzuführen sind,
- Analyse von Effekten, die den Ablauf der Szenarien beeinflussen,
- Bereitstellung konzeptueller Modelle für die zu berücksichtigenden Effekte,
- Bereitstellung der Rechenprogramme für die Modellrechnungen,
- Bereitstellung der Eingangsparameter für die Modellrechnungen und
- Durchführung der Modellrechnungen und Bewertung der Ergebnisse.

Diese Langzeitsicherheitsanalyse unterteilt sich somit in zwei Schritte. Im ersten Schritt werden in der Szenarienanalyse die möglichen Szenarien identifiziert. Von diesen werden die wichtigen für die Durchführung von Modellrechnungen ausgewählt. Im zweiten Schritt werden für diese Szenarien die potenziellen Strahlenexpositionen als Folge von Freisetzungen der eingelagerten Radionuklide in die Biosphäre für zukünftige Individuen ermittelt.

Der Nachweis der Langzeitsicherheit wird zunächst durch Modellrechnungen für den Wasserpfad beim Szenarium des Lösungszutritts erbracht. Dieses Szenarium ist wegen der Verhältnisse am Standort von besonderer Bedeutung und bildet auch die Basis für die Konzeption der Verfüll- und Verschleißmaßnahmen. Bei den Modellrechnungen zum Wasserpfad wird angenommen, dass die aktuellen geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse dauerhaft erhalten bleiben. Mögliche Veränderungen im Hutgestein und im Deckgebirge werden durch zusätzliche Betrachtungen als Varianten berücksichtigt.

Neben dem Wasserpfad beim Szenarium des Lösungszutritts werden weitere Szenarien betrachtet. Hierzu gehört beim Szenarium des Lösungszutritts die Ausbreitung von Radionukliden über den Gaspfad. Als weiteres Szenarium wird das unbeabsichtigte menschliche Eindringen in das Endlager berücksichtigt. Der Nachweis der Einhaltung des radiologischen Schutzziels wird ergänzt um Betrachtungen zu Sicherheitsindikatoren für die eingelagerten oder freigesetzten Radionuklide und zum Gefährdungspotenzial der chemischen Schadstoffe.

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

5.4.1 Verfüllmaßnahmen

Zur Stilllegung des Endlagers werden Verfüll- und Abdichtmaterialien in die Grubenbaue eingebracht. Damit werden das Volumen der Hohlräume reduziert, das Gebirge gestützt und Strömungsvorgänge in den Grubengebäuden behindert. Die für die Langzeitsicherheit relevanten Verfüllmaßnahmen sind das weitgehende Versetzen der Grubenbaue, die Abdichtungen der Einlagerungsbereiche West-Südfeld und Ostfeld gegenüber den übrigen Grubengebäuden, die Bohrlochverfüllungen und die Schachtverfüllungen.

Auf der Basis von Experimenten und Modellrechnungen wurden die Eigenschaften der Versatzmaterialien untersucht. Es wird gezeigt, dass die Anforderungen zuverlässig eingehalten werden können. Mittels betriebsbegleitender Qualitätssicherungsmaßnahmen werden die Einhaltung der Anforderungen an die Materialien und die Bauausführung überwacht.

Versetzen der Grubenbaue

Der Versatz dient der Erhaltung der langfristigen Standsicherheit und Integrität des Salzgebirges um die Einlagerungsbereiche West-Südfeld und Ostfeld, der Begren-

zung von Senkungen an der Tagesoberfläche, der Behinderung des Transports von Schadstoffen sowie der Begrenzung von Auf- und Umlösungen potenziell zutretender Lösungen am Salzgestein. Der Versatz ist gegenüber chemischen Angriffen durch die Lösungen über lange Zeiten stabil.

Mit geomechanischen Modellrechnungen wurden unter Berücksichtigung der Hohlraumgeometrie der Grubenbaue und der ortsabhängigen Eigenschaften des Gebirges die konkreten Anforderungen an den Versatz abgeleitet. Anforderungen an den Versatz wurden für den Verfüllgrad einzelner Grubenbaue, die Druckfestigkeit und die Steifigkeit formuliert. Die zeitliche Änderung der Kennwerte von Gebirge und Versatz wurde in den Modellrechnungen berücksichtigt. Zugelassene Toleranzen in der Bauausführung und Bandbreiten der Materialeigenschaften sowie der geologischen und geotechnischen Daten und Kennwerte wurden ebenfalls einbezogen.

Die den Modellrechnungen zugrundeliegenden Eigenschaften des Versatzmaterials wurden durch Laborversuche bestimmt. Die Kennwerte des Gebirges wurden im Labor, durch In-situ-Messungen und Vergleiche mit natürlichen Analoga ermittelt. Es wurde gezeigt, dass die bei der Wechselwirkung mit dem Gebirge auftretenden mechanischen Belastungen nicht zu unzulässigen Beanspruchungen des Versatzes führen.

Abdichten der Einlagerungsbereiche

Aufgrund der geometrischen Verhältnisse werden in den Langzeitsicherheitsanalysen das Westfeld und das Südfeld als eine Einheit (West-Südfeld) betrachtet. Die Einlagerungsbereiche im West-Südfeld und im Ostfeld werden durch Abdichtungen von den übrigen Bereichen der Gruben (im Folgenden als Restgrube bezeichnet) getrennt. Im Einlagerungsbereich West-Südfeld werden 15 horizontale Streckenabschnitte durch Bauwerke aus Salzbeton abgedichtet. Die Abdichtung des südlichen Wetterrolllochs mit Dichtelementen aus einem Gemisch aus Schotter und Bitumen (siehe Kapitel 3.1.3) schließt eine relevante hydraulische Verbindung zwischen den angeschlossenen horizontalen Streckenabdichtungen aus. Im Ostfeld werden Abdichtungsbauwerke in horizontalen Streckenabschnitten auf der 2. und 4. Sohle errichtet. Das Abdichtungsbauwerk auf der 2. Sohle befindet sich im Steinsalz und wird aus Salzbeton hergestellt. Das Abdichtungsbauwerk auf der 4. Sohle im Hauptanhydrit besteht aus Magnesiabeton. Alle Abdichtungsbauwerke werden grundsätzlich in gering durchbauten Grubenbereichen errichtet, um eine Umläufigkeit der Abdichtungen über gestörte Gebirgsbereiche ausschließen zu können. Die für die Abdichtungsbauwerke vorgesehenen Streckenabschnitte werden nach dem Entfernen der Auflockerungszonen firstbündig und qualitativ hochwertig verfüllt. Die Abdichtungen müssen unmittelbar nach Errichtung eine Dichtfunktion aufweisen. Aus diesem Grunde wird die Kontaktzone der Abdichtungen im Steinsalz zwischen Salzgestein und Salzbeton mit Feinstbindemittel injiziert. Die so hergestellten

Abdichtungen behindern den Zutritt von Lösungen in die Einlagerungsbereiche und das Entweichen von kontaminierten Lösungen und Gasen aus den Einlagerungsbereichen. Für die Abdichtungen wird gefordert, dass sie eine Anfangspermeabilität von 10^{-18} m^2 oder kleiner aufweisen, die Gebrauchstauglichkeit über ca. 20.000 Jahre erhalten bleibt und die folgenden Belastungen für diesen Zeitraum versagensfrei ertragen werden:

- Gebirgsdruck
- Beanspruchung durch Fluiddrücke
- Chemischer Angriff durch Lösungen
- Hydratationswärme.

Die Analyse der Beanspruchungen mit den jeweiligen Wechselwirkungen der Belastungen erfolgte mittels thermomechanischer Berechnungen, die zeitliche Änderungen der Materialparameter berücksichtigen. Im Rahmen dieser Berechnungen wurden mehrere Berechnungsvarianten untersucht, um die Einflüsse bei Änderungen der Materialeigenschaften oder Belastungszeitpunkten einzuschätzen. Die berechneten Beanspruchungen wurden unter Verwendung von Spannungskriterien hinsichtlich ihrer Zulässigkeit bewertet.

Die horizontalen Abdichtungen aus Salzbeton und Magnesiabeton können nicht so ausgelegt werden, dass ihre geochemische Stabilität bei allen möglichen Zusammensetzungen der potenziell zutretenden Salzlösungen dauerhaft gegeben ist. In den Modellrechnungen zur Langzeitsicherheit wird daher unterstellt, dass die Abdichtungen mit der zutretenden Lösung entsprechend ihrer Zusammensetzung reagieren und sich ihre Permeabilität dabei erhöht. Aufgrund der niedrigen Anfangspermeabilität sind die Zutrittsraten in die Einlagerungsbereiche gering, so dass die Permeabilität der Abdichtungen über ausreichend lange Zeiträume erhalten bleibt und damit die hydraulische Wirksamkeit der Abdichtungen und die Rückhaltung der Schadstoffe gewährleistet werden. Auch die geomechanischen Modellrechnungen weisen eine ausreichend lange Standfestigkeit der Abdichtungen nach.

Verfüllen der Schächte

Für die Verfüllung der Schächte wird gefordert, dass der Zutritt von Wässern oder Austritt von Lösungen aus den Grubengebäuden durch die Schachtverfüllung bzw. den Schachtverschluss und das angrenzende Gebirge ausreichend gering ist.

Für den Schacht Bartensleben, der sich im Einlagerungsbereich West-Südfeld befindet, bedeutet dies, dass über den Schachtverschluss nicht mehr als $0,1 \text{ m}^3/\text{a}$ zutreten oder ausgepresst werden bzw. die in Kapitel 2.4 genannte Auslegungsanforderung nicht überschritten wird. Hierdurch wird sichergestellt, dass während der Zutrittsphase die in Summe über die Streckenabdichtungen aus der Restgrube und

über den Schachtverschluss Bartensleben zutretenden Lösungen in die Unterwerksbaue abfließen können. Falls infolge der Korrosion mindestens eine der Abdichtungen die Gebrauchstauglichkeit verliert und der Einlagerungsbereich West-Südfeld in kurzer Zeit vollläuft, begrenzt die Schachtverfüllung das Auspressen von Lösung auf direktem Weg in die Biosphäre. Das auch für die Auspressphase gültige Bemessungsziel von $0,1 \text{ m}^3/\text{a}$ garantiert, dass die über den Schacht ausgepresste Lösungsmenge gegenüber der über die korrodierte(n) Abdichtung(en) ausgepressten Lösungsmenge vernachlässigt werden kann. Das entspricht der modelltechnischen Umsetzung im Langzeitsicherheitsnachweis.

Der Schacht Marie befindet sich in der Restgrube, wobei gemäß Szenarienanalyse die Restgrube infolge nicht auszuschließender Lösungszutritte vollläuft. Aus der Szenarienanalyse leiten sich keine konkreten Anforderungen an eine zulässige Zutrittsrate über den Schacht Marie ab, sondern es wird lediglich angenommen, dass der verschlossene Schacht keinen wesentlichen Beitrag zum Volllaufen der Restgrube liefert. Dies ist gewährleistet, weil die Schachtverfüllung Marie in gleicher Weise konstruktiv durchgebildet ist wie die Schachtverfüllung Bartensleben.

Die Schachtverfüllungen sind gegen folgende Beanspruchungen ausgelegt:

- Gebirgsdruck
- Chemischen Angriff durch Lösungen
- Beanspruchungen durch Fluiddrücke

Die Prognose der Beanspruchungen der Schachtverfüllungen sowie der Wechselwirkungen zwischen Gebirge, Verfüllmaterialien und anstehenden Lösungen und Gasen erfolgte mit geomechanischen und strömungsmechanischen Modellrechnungen. Die berechneten Beanspruchungen wurden anhand von Sicherheitskriterien, wie etwa zulässige Spannungs- und Verformungszustände und Abstände von Grenz- und Versagenszuständen, bewertet. Die zeitliche Änderung der Materialparameter wurde berücksichtigt. Toleranzen in der Bauausführung und Bandbreiten der Materialeigenschaften sowie der geologischen und geotechnischen Daten und Kennwerte wurden ebenfalls einbezogen.

Die den Modellrechnungen zugrunde gelegten Eigenschaften und Daten der Verfüllmaterialien wurden durch Laborversuche und Vergleiche mit natürlichen Analoga, die des Gebirges zusätzlich auch durch In-situ-Versuche ermittelt.

Es wurde nachgewiesen, dass in den Schachtverfüllungen und im umgebenden Gebirge keine unzulässigen Beanspruchungen auftreten und die Schachtverfüllungen ihre sicherheitstechnische Funktion erfüllen. Die Schachtverfüllungen in Verbindung mit dem Gebirge halten dem Gebirgsdruck und dem Flüssigkeitsdruck beim Zutritt von Lösungen stand. Des Weiteren wurde nachgewiesen, dass sie dem Flüssigkeitsdruck standhalten, der beim Auspressen von Lösungen aus den Grubenbauen auftritt.

Verfüllen von Bohrlöchern

Der Magnesiabinder wird als qualitätsgesicherter, vorkonfektionierter Trockenbaustoff in einer mobilen Misch- und Pumpanlage vor Ort angemischt und unter Druck in die zu verschließenden Bohrungen gepresst. Sowohl der für die Verfüllung der Bohrungen vorgesehene Magnesiabinder als auch die Misch- und Pumpanlage werden im ERAM bereits heute für das Verfüllen von geotechnischen Bohrungen verwendet und entsprechen dem Stand der Technik. Die Einhaltung der Anforderungen an die Bohrlochverfüllungen ist durch Versuche nachgewiesen.

5.4.2 Szenarien

In der Phase nach Verschluss des Endlagers kann sich das System „Endlager Morsleben“ auf zwei grundsätzlich unterschiedliche Arten entwickeln:

(A) Systementwicklung „trockene Grube“

Bei der Systementwicklung „trockene Grube“ entstehen in der Phase nach Verschluss des Endlagers keine neuen, zusätzlichen Wegsamkeiten aus dem Hutgestein durch das Salinar in die Grubengebäude und die bestehende Wegsamkeit zwischen dem Hutgestein und dem Lager H (Grube Marie) bildet sich zurück. Insgesamt tritt den Grubengebäuden in der Phase nach Verschluss des Endlagers höchstens eine vernachlässigbar geringe Lösungsmenge zu.

(B) Systementwicklung „mit relevantem Lösungszutritt“ in die Grubengebäude

Bei der Systementwicklung „mit relevantem Lösungszutritt“ treten in der Phase nach Verschluss des Endlagers den Gruben in erheblicher Menge Lösungen aus dem Hutgestein zu, sei es über die bestehende Wegsamkeit in das Lager H oder entlang einer oder mehrerer neu entstehender Wegsamkeiten.

Diese beiden grundsätzlichen Entwicklungen des Endlagersystems wurden mittels der Methodik der Szenarienanalyse ermittelt, systematisch untersucht und weiter detailliert.

Unter Szenarien werden die verschiedenen Entwicklungsmöglichkeiten des Endlagersystems über lange Zeiten verstanden. Die Szenarien beschreiben dabei in qualitativer Weise einen möglichen Systemzustand nach Verschluss des Endlagers und eine mögliche anschließende Systementwicklung; sie bezeichnen zudem die für diesen Zustand und diese Entwicklung zu untersuchende Art des Radionuklidtransports. Der Begriff des Szenariums wird dabei allgemein für eine bestimmte Entwicklung verwendet. Szenarien können zu Szenariengruppen

zusammengefasst werden z. B. Szenarien infolge eines verursachenden Prozesses (Bergbau-Szenarien) oder an Hand ähnlicher Folgen (z. B. trockene Grube). In Szenarienvarianten werden Systemzustand und Systementwicklung entsprechend einem bezeichneten Szenarium beschrieben, jedoch mit zusätzlicher quantitativer Spezifikation aller Merkmale des Systemzustands und der Systementwicklung.

Zur Ermittlung der verschiedenen Möglichkeiten der Entwicklung des Endlagers in der Zukunft werden dabei zunächst alle das Endlagersystem beschreibenden Zustände/Eigenschaften, Ereignisse und Prozesse (ZEP) aufgelistet.

Unter Zuständen wird die Gesamtheit von Parametern, die zu einem bestimmten Zeitpunkt ein bestimmtes System oder Teile davon charakterisieren, verstanden (z. B. geologische Eigenschaften, Abfalleigenschaften). Ereignisse beschreiben spontane Veränderungen des Systems oder von Systemkomponenten von sehr kurzer Dauer, wie das Einsetzen oder Aufhören von Prozessen, oder auch von Vorgängen (Erdbeben, Explosionen, Brände). Prozesse dagegen beschreiben die Veränderung der Zustände von Systemen, die entweder direkt zu beobachten und zu messen sind oder hypothetisch erschlossen werden können und die mit gleichbleibender oder veränderlicher Geschwindigkeit über längere Zeiträume ablaufen (z. B. Gasbildung infolge von Korrosion, Subrosion, Erosion). Prozesse können Ereignisse auslösen.

Für die Szenarienanalyse ERAM werden drei definierte Gruppen von Zuständen, Ereignissen und Prozessen betrachtet. Diese sind:

- ZEP-Gruppe 1: Mächtigkeitsreduzierung der geologischen Barriere des Endlagers.
- ZEP-Gruppe 2: Zutritt von Wässern in die Grubengebäude.
- ZEP-Gruppe 3: Vorgänge im lösungsgefüllten Endlager und Austritt kontaminierter Lösungen.

Für jede der angeführten ZEP-Gruppen wurden Szenarien erarbeitet.

Neben Entwicklungen, bei denen keine Schadstoffe freigesetzt werden, können Szenarien eintreten, die zumindest potenziell zu einer Freisetzung von Schadstoffen aus dem Endlager führen können. Wegen der schon vorhandenen Zutritte von Lösungen wird im Folgenden als Erstes auf die Möglichkeit des Zutritts von Lösungen im Zusammenhang mit Bergbau-Szenarien eingegangen. Weitere wesentliche Szenarien sind zukünftige menschliche Aktivitäten sowie klimatische und geologische Veränderungen, die sich auf die zukünftige Entwicklung des Endlagers auswirken können. Die nachfolgend dargestellten Szenariengruppen gehen von der Durchführung der beschriebenen Verfüllmaßnahmen aus.

Bergbau-Szenarien

Als Folge bisheriger Bergbautätigkeiten finden geomechanische Verformungen statt, die zu einer Beeinträchtigung der Barrieren und somit zur Bildung von Wegsamkeiten und zu einem Zutritt von Lösungen in die Grubenbaue der Grubengebäude Bartensleben und Marie führen können. Seit Jahren existieren mehrere Zutrittsstellen mit sehr geringen Zutrittsraten, von denen derzeit nur eine hydraulisch mit dem Deckgebirge verbunden ist. Wegen der weitgehenden Verfüllung der Grubenbaue ist eine Erhöhung der langjährigen durchschnittlichen Zutrittsrate von derzeit insgesamt etwa $12 \text{ m}^3/\text{a}$ wenig wahrscheinlich. Bei einer solchen Zutrittsrate und einer Konvergenzrate von $5 \cdot 10^{-5}/\text{a}$ dauert das Volllaufen der verbleibenden Hohlräume in den Grubengebäuden Bartensleben und Marie länger als 20.000 Jahre.

Aufgrund der geologischen und bergbaulichen Situation kann es an weiteren Stellen in den Gruben zum Zutritt von Lösungen kommen. Durch die Verfüllmaßnahmen wird die Entstehung neuer Zutrittsstellen aber stark behindert. Trotzdem kann ein Lösungszutritt mit höheren Zutrittsraten an den potenziellen Zutrittsstellen nicht ausgeschlossen werden.

Die Rate eines Lösungszutritts ist einerseits abhängig von der hydraulischen Leitfähigkeit der Wegsamkeit in der Salzstruktur, d. h. im Hauptanhydrit und ggf. im desintegrierten Steinsalz zwischen diesem und dem Grubenbau, und andererseits von der Permeabilität des Hutgesteins in der Umgebung der Wegsamkeit durch das Salinar. Von Bedeutung ist auch die Ausbildung der Grenze zwischen Salzstruktur und Hutgestein, z. B. das Fehlen oder die Existenz einer Subrosionsrinne an der Basis des Hutgesteins. Modellrechnungen haben ergeben, dass die Rate eines Lösungszutritts unter wahrscheinlichen Verhältnissen im Hutgestein und an der Grenze Hutgestein/Salzstruktur sowie bei einer sehr hohen, ungünstigen Leitfähigkeit der Wegsamkeit in der Salzstruktur einige $10 \text{ m}^3/\text{a}$, bei ungünstigen Bedingungen an der Grenze Hutgestein/Salzstruktur höchstens wenige $100 \text{ m}^3/\text{a}$ betragen kann.

Bei den genannten Zutrittsraten dauert es einige 1.000 Jahre bis einige 10.000 Jahre, bis die Restgrube vollgelaufen ist. Diese Angabe der Zeitspanne berücksichtigt auch die bestehenden Ungewissheiten in Bezug auf die Konvergenzrate der Grubenbaue. Sofern die mit erhöhtem technischen Aufwand verfüllten Strecken zwischen den Gruben Bartensleben und Marie hydraulisch wirksam sind, dauert das Volllaufen von jenem Grubengebäuden, in das keine Lösung aus dem Hutgestein Zutritt, noch länger.

Noch höhere Zutrittsraten setzen hydrogeologische Verhältnisse im Hutgestein voraus, die für die nächsten ca. 30.000 Jahre nicht zu erwarten sind. Es muss davon ausgegangen werden, dass infolge dieser Lösungszutritte langfristig schwach mineralisierte Lösungen aus dem Deckgebirge in die Grubengebäude eintreten. Die Auswirkungen dieses Prozesses (im Wesentlichen Hohlraumneubildung) werden im Langzeitsicherheitsnachweis berücksichtigt.

In der Umgebung des Endlagers befindet sich die zurzeit ersaufende Schachtanlage Walbeck-Buchberg. Nach Norden im Streichen der Lagerstätte beträgt die kürzeste Entfernung von den nördlichsten Grubenbauen der Schachtanlage Marie zu den Grubenbauen dieser Schachtanlage ca. 2,8 km (Abb. 1.1-2). Eine Verbindung der Grubenfelder Walbeck-Buchberg und Marie kann ausgeschlossen werden. Die Entfernung ist so groß, dass die aufgrund der als Bodenkörper abgelagerten Kristallisate und Lösungsrückstände bei den stets „schräg nach oben“ verlaufenden Umlösungsvorgängen an Kalilagern im ersaufenden Grubengebäude Walbeck-Buchberg keine Verbindungen zum Grubengebäude Marie ergeben können. Diese Auffassung wird durch ein umfangreiches Gutachten der K+S AG als Betreiber des Steinsalzbergwerkes Braunschweig-Lüneburg bestätigt. Die Abbaue dieses Bergwerkes entwickeln sich Richtung Südosten auf das Grubengebäude Marie zu. Im Gutachten wird eine Beeinflussung des ERAM ausgeschlossen.

Südlich des Grubengebäudes Bartensleben befindet sich in einer Entfernung von ca. 800 m der verfüllte Schacht Alleringersleben (siehe Abb. 1.1-2). Auch von hier kann es zu keinen Umlösevorgängen kommen, die Verbindungen zum Grubengebäude Bartensleben schaffen.

Geologische Szenarien

Geologische Prozesse bewirken eine ständige Veränderung der Erdoberfläche. Hierzu zählen u. a. sogenannte neotektonische Bewegungen. Ihre Beträge sind derzeit am Standort des ERAM so gering, dass sie unterhalb der messtechnischen Nachweisgrenze liegen. Sie sind jedoch auch hier denkbar, entwicklungs-geschichtlich möglich und daher modellhaft zu berücksichtigen. Die dadurch zu erwartenden Verformungsraten im Salzgebirge sind im Mittel viel kleiner als die durch den Bergbau in der Vergangenheit verursachten Verformungsraten. Labor-untersuchungen und natürliche Analoga belegen, dass das kriechfähige Salzgestein langsame Verformungen ohne Integritätsverlust erträgt. Die selben geologischen Prozesse können in den nicht kriechfähigen Gesteinen wie im Hutgestein und in hochgelegenen Hauptanhydritschollen zur Bildung neuer Klüfte und damit zu neuen Wegsamkeiten für Lösungen führen.

Weitere untersuchte Ereignisse und Prozesse sind:

- Hebung nebst Abtragung (Epirogenese, Denudation),
- Salzaufstieg,
- Subrosion,
- Erosion durch die Aller,
- Erosion durch subglaziale Wässer,
- Exaration (Ausschürfung/Ausräumung) durch Inlandgletscher,

- Vulkanismus,
- Meteoriteneinschlag.

Diese Ereignisse und Prozesse wurden im Hinblick auf ihre Relevanz für die Langzeitsicherheit untersucht und bewertet. So wird z. B. der Vulkanismus aufgrund der seit 150 Mio. Jahre andauernden Ruhephase in diesem Gebiet als relevanter Prozess ausgeschlossen. 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 Epirogenese, Meeresspiegelschwankungen oder Salzaufstieg verursacht werden, nicht relevant.

Die übrigen Prozesse werden hinsichtlich ihrer möglichen Relevanz quantitativ untersucht. Die Ergebnisse werden im Langzeitsicherheitsnachweis berücksichtigt.

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 ggf. 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 langfristige Klimaentwicklung wird – abgesehen vom anthropogenen Einfluss – durch Variationen der Sonneneinstrahlung als Folge von periodischen Änderungen der Erdbewegung um die Sonne gesteuert (Milanković-Theorie). Obwohl alle Modelle für die künftige Klimaentwicklung auf Hypothesen beruhen und Unsicherheiten bei der Wahl ihrer Parameter bergen, wird die Beschreibung der Entwicklung bis ca. 150.000 Jahre nach heute auf der Basis der verschiedenen Simulationsrechnungen als aussagekräftig eingeschätzt. Die Prognosen weisen ein erstes glaziales Maximum nach etwa 100.000 Jahren aus, wobei die Vereisung in Norddeutschland dann gleich oder geringer als jene des Weichsel-Hochglazials ist, d. h. ohne Eisbedeckung, jedoch mit kontinuierlichem Permafrost am Standort. Nach einer Warmzeit ergeben die Modelle eine weitere Kaltzeit mit schneller Eisakkumulation in Norddeutschland und einem Abkühlungsmaximum nach ca. 150.000 Jahren. Vor dem ersten glazialen Maximum tritt nach den Prognosen eine erste Abkühlung zu

borealen und zeitweise periglazialen Klimabedingungen mit diskontinuierlichem Permafrost (ab etwa 60.000 Jahren) auf. Die anthropogenen Einflüsse können die erste Abkühlung verzögern und abschwächen.

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 der Veränderungen in der geologischen Vergangenheit und Modellrechnungen für die Zukunft haben für das ERAM gezeigt, dass Subrosion und Erosion durch Schmelz- und Gletscherwasser unter Eiszeitbedingungen von allen möglichen Klima-Szenarien die größten potenziellen Auswirkungen auf die Barrieren des Endlagers haben können.

Die Weichsel-Eiszeit (letzte Eiszeit, periglaziale Verhältnisse ohne Eisbedeckung des Standortes) und die frühere Saale-Kaltzeit (mit Eisbedeckung des Standortes) bewirkten am Standort höchstens beschränkte Veränderungen. Die Saale-Eiszeit hatte nur flache erosive Ausräumungen und Stauchungen des Untergrundes sowie die Ablagerung einer geringmächtigen Grundmoräne zur Folge. Die Verhältnisse während der Saale-Eiszeit führten auch zu keinen erkennbaren Auswirkungen auf die Subrosion. Die aus dem Wechsel der Kalt- und Warmzeiten der letzten 300.000 Jahre resultierenden Ausräumungs- und Wiederauffüllungsbeträge des Reliefs liegen in der Größenordnung von ca. 20 m bis 30 m.

Die noch frühere Elster-Kaltzeit mit ihrer sehr mächtigen Eisbedeckung am Standort brachte die letzte bedeutsame Zäsur in der geologischen Entwicklung der Standortumgebung mit sich. Die Gletscher der Elster-Eiszeit bewirkten lokal Ausräumungen bis maximal 60 m unter die Geländeoberfläche, so dass sich der Abstand der unter dem Gletscher verlaufenden Fließgewässer zum Salzspiegel um den gleichen Betrag verringerte. Im Bereich des Gletscherrandes entwickelten sich im Untergrund relativ hohe hydraulische Gradienten. Durch die schnell wechselnde Belastung durch die Eisbedeckung entstanden zudem vermutlich neue wasserwegsame Klüfte im Hutgestein, welche in Verbindung mit den hohen hydraulischen Gradienten kurzfristig zu hohen Subrosionsraten führten. Dies bewirkte eine subrosive Tieferlegung des Salzspiegels um 20 m bis 50 m. Nach dem Rückzug der Gletscher bildeten sich die neu entstandenen Wasserwegsamkeiten im Hutgestein durch Mineralausfällung (hauptsächlich Gips) zurück, worauf das „intakte“ Hutgestein wieder die heute beobachtete niedrige Permeabilität aufwies.

Da für die kommenden 150.000 Jahre das Eintreten einer Vereisung vom Typ der Elster-Eiszeit ausgeschlossen wird, für spätere Zeiten jedoch nicht mehr, beschränkt sich die geowissenschaftliche Langzeitprognose auf einen Zeitraum von 150.000 Jahren. Zu späteren Zeiten können sich die Potenziale und die hydraulischen Durchlässigkeiten in Teilen des Deckgebirges im Gefolge der prognostizierten Kaltzeiten wesentlich ändern.

Aus der Analyse und den Schlussfolgerungen der geowissenschaftlichen Langzeitprognose lassen sich für die Zeitperiode zwischen 150.000 Jahren und rund 1 Mio. Jahre jedoch folgende Aussagen ableiten:

- Tektonische Verschiebungen (einschließlich salztektonischer Verformungen) in Größenordnungen, welche Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit haben können, sind äußerst unwahrscheinlich.
- Eisbedeckungen mit mächtigen Gletschern können tiefe lokale Ausräumungen im Lockergestein des Deckgebirges bewirken, die sich nach dem Rückzug der Gletscher wieder auffüllen. Die Durchlässigkeitsverteilung im Deckgebirge verändert sich durch diesen Prozess. In welchem Maße auch die Festgesteinsanteile des Deckgebirges (Keuper, Hutgestein) von Schmelzwassererosion und exarativen Prozessen betroffen sein können, ist nicht sicher prognostizierbar. Eine Ausräumung bis tief ins Hutgestein ist jedoch wenig wahrscheinlich. Dies hat weder bei den vergangenen Eisvorstößen stattgefunden, noch liefern die Standortverhältnisse dafür günstige Randbedingungen.
- Eisbedeckungen mit mächtigen Gletschern können in Eisrandlagen kurzfristig zu hohen Subrosionsraten am Salzspiegel führen. Der Salzspiegel kann dadurch – speziell beim hypothetischen Eintreten von mehreren Eisbedeckungen mit starker Gletschermächtigkeit – bis zu den hoch gelegenen Grubenbauen im Zentralteil der Grube Bartensleben und in der Grube Marie absinken.
- Während der nächsten 1 Mio. Jahre wird die Mächtigkeit von Deckgebirge/Hutgestein nicht in relevantem Maße abnehmen.
- Der Grundwasserfluss im Deckgebirge kann sich wesentlich gegenüber den heutigen Verhältnissen verändern. Während beschränkter geologischer Zeitperioden können im Hutgestein erhöhte Durchlässigkeiten und deutlich höhere Grundwasserflüsse auftreten. Dadurch können an NaCl ungesättigte Wässer verstärkt zum Salzspiegel gelangen.

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 stillgelegten 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. Für den Zeitraum danach kann nicht ausgeschlossen werden, dass im Bereich des Endlagers bergmännische Tätigkeiten aufgenommen werden.

Denkbare Szenarien eines zukünftigen unbeabsichtigten Eindringens in das Endlager sind mit

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

verbunden.

Die Salzstruktur Morsleben ist aufgrund ihrer starken halokinetischen Beanspruchung so inhomogen, dass die Errichtung einer Speicher- oder Solkaverne ausgeschlossen werden kann. Für die Errichtung eines neuen Bergwerkes müssten vorher Bohrungen abgeteuft werden, welche in das ehemalige Bergwerk eindringen würden und damit als Explorationsergebnis eine abgebaute, wenig ergiebige Lagerstätte bzw. das bestehende Endlager anzeigen würden. Dieses mögliche Explorationsergebnis und die große Anzahl geeigneter Salzlagerstätten in der norddeutschen Tiefebene lassen für das Gebiet des ERAM die Errichtung eines neuen Bergwerkes sehr unwahrscheinlich erscheinen. Die oberflächennahe geothermische Nutzung des Untergrundes ist nur bis 99 m unter die Geländeoberfläche ohne bergrechtliche Genehmigung möglich. Bis 100 m Eindringtiefe ist eine Beeinträchtigung für das ERAM auszuschließen. Für eine geothermische Nutzung des tiefen Untergrundes gilt auch das Szenarium des Eindringens mittels einer Bohrung in das ERAM.

Für das nicht vollständig auszuschließende Szenarium des Eindringens mittels einer Erkundungsbohrung in einen Einlagerungsbereich wurden die radiologischen Konsequenzen in Modellrechnungen untersucht. Die Ergebnisse werden im Kapitel 5.4.4 wiedergegeben.

Subrosion

Die Geschwindigkeit und das Ausmaß von Subrosionsvorgängen wurden mit Modellrechnungen, geologischen Untersuchungen und über natürliche Analoga ermittelt. Die Modellrechnungen und die Ergebnisse standortspezifischer Untersuchungen belegen, dass unter heutigen Klimabedingungen praktisch keine nennenswerte flächenhafte Subrosion stattfindet.

Unter glazialen Bedingungen, wie sie im Zusammenhang mit den quartären Vereisungen im Bereich des ERAM vorgelegen haben, waren die Subrosionsraten unterschiedlich. Während die Verhältnisse während der Saale- und Weichsel-Kaltzeit zu keinen erkennbaren Auswirkungen auf die Subrosion führten, erreichte die flächenhafte Subrosionsrate während der Elster-Kaltzeit vor rund 400.000 Jahren durchschnittliche Werte bis zu einem zehntel Millimeter pro Jahr. Dies führte unter den damaligen geologischen Verhältnissen zur Subrosion von mehreren 10er Metern Salzgestein.

Die Verhältnisse der Grundwasserbewegung im Deckgebirge des Standortes und damit der Subrosion werden aufgrund der weitgehenden Stabilität der morphologischen und geologischen Verhältnisse über den Zeitraum von ca. 150.000 Jahren weitgehend den heutigen Verhältnissen entsprechen. Die deutlichsten Veränderungen sind in den Abkühlungsphasen mit Permafrost nach ca. 60.000 Jahren und nach ca. 100.000 Jahren zu erwarten. Unter Permafrostbedingungen kann das Ausmaß der Grundwasserbewegung und der damit verbundenen Subrosion am stärksten verändert sein. Diese wurden mittels orientierender Berechnungen ermittelt. Während Abkühlungsphasen werden Zeiten diskontinuierlichen und kontinuierlichen Permafrosts unterschieden. Der diskontinuierliche Permafrost wird mit einer Zeitdauer von ca. 10.000 Jahren und einer Wahrscheinlichkeit nach ca. 60.000 Jahren angenommen. Der kontinuierliche Permafrost hält ca. 10.000 Jahre bis 15.000 Jahre an und tritt erst nach ca. 100.000 Jahren auf. Die Eindringtiefe des Permafrosts kann in Abhängigkeit von der Bodenbeschaffenheit einige 10er Meter betragen und den oberflächennahen Grundwasserbereich stark beeinflussen. Das kann durch die Schaffung von Erosionsrinnen oder die Verdrängung von Flüssen in neue Fließgebiete und -richtungen verursacht werden, und es können neue Grundwasserströmungsverhältnisse im Allertal geschaffen werden. Demnach soll sich in rund 40.000 Jahren maximal eine 50 cm mächtige Salzschicht am Salzspiegel auflösen. Dabei wäre die Subrosion am Salzspiegel besonders im Randbereich der Salzstruktur am höchsten. Dies ist jedoch ohne langzeitsicherheitliche Relevanz, da hier die Mächtigkeit der Salzschicht über den Grubenbauen ca. 100 m und mehr beträgt.

Insgesamt wurde auch unter Berücksichtigung ungünstiger Verhältnisse die Auflösung einer Steinsalzschiefer von ca. 2 m in den kommenden 150.000 Jahren ermittelt. Dies hat keine sicherheitsrelevanten Auswirkungen auf das Endlager.

5.4.3 Konsequenzanalyse

Für repräsentative Szenarien werden die möglichen Konsequenzen für die zukünftig lebenden Menschen ermittelt. Aufgrund des zu betrachtenden langen Zeitraums und der komplexen Geometrie des Endlagersystems kann dies nur mit Hilfe von Modellrechnungen geschehen. Der gesamte Vorgang der Bereitstellung von Daten und Rechenprogrammen sowie der Durchführung und Interpretation der Modellrechnungen wird als Konsequenzanalyse bezeichnet. Für die repräsentativen Szenarien wird jeweils gezeigt, dass die Freisetzung von Radionukliden ausreichend behindert und das vorgegebene Schutzziel eingehalten werden.

Die repräsentativen Szenarien umfassen Entwicklungen des Endlagers, bei denen den Gruben in der Nachbetriebsphase höchstens vernachlässigbar geringe Mengen an Lösung zutreten, und solche, bei denen erhebliche Lösungsmengen zutreten. Die ersteren werden mit dem Stichwort „trockene Grube“, die letzteren mit dem Stichwort „mit relevantem Lösungszutritt“ bezeichnet. Erheblich bzw. relevant sind dabei Lösungsmengen, welche sicherheitsrelevante Prozesse beeinflussen können. Die Konsequenzanalyse behandelt in erster Linie das Szenarium mit relevantem Lösungszutritt in die Gruben, welches die erwartete Entwicklung des Endlagers in einem solchen Fall beschreibt. Detaillierte Modellrechnungen wurden zudem für Szenarien zur „trockenen Grube“ sowie für weniger wahrscheinliche Entwicklungen bei relevantem Lösungszutritt durchgeführt. Für die Durchführung der Modellrechnungen wurden zwei verschiedene Rechenprogramme eingesetzt. Diese sind das Programmpaket EMOS der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH und das Programm PROSA der Firma AF-Colenco AG. Für einige Szenarien erfolgte die Ermittlung der Konsequenzen mit einfacheren Abschätzungen.

Die beiden Rechenprogramme EMOS und PROSA berücksichtigen in vereinfachender Weise die wichtigen Vorgänge in den Grubengebäuden und im Deckgebirge hinsichtlich der Ausbreitung von Radionukliden 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. Die wesentlichen Modellansätze der Programme werden in diesem Kapitel unter dem Punkt „Berücksichtigte Effekte und deren Modellierung“ dargestellt.

Vorgehensweise

In der Konsequenzanalyse muss das Verhalten des Endlagersystems über lange Zeiten ausreichend gut beschrieben werden, um mögliche Konsequenzen für zukünftig lebende Menschen aufzuzeigen. Die eingesetzten Rechenprogramme sind dementsprechend erprobt und für die Anwendung auf die Standortverhältnisse

geeignet. Für die Modellrechnungen sind umfangreiche Daten erforderlich, die aus experimentellen Untersuchungen und begleitenden Modellrechnungen abgeleitet wurden. Die Anwendbarkeit der Daten auf die Standortverhältnisse ist gewährleistet.

Die Parameter des Modellansatzes zur Beschreibung der zeitlichen Abnahme von Hohlraumvolumen im Salzgestein (Konvergenz) 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 Zeit, der Stützwirkung des Versatzes und des Fluiddrucks ermittelt. Die verwendeten Werte der Stoffparameter wurden Laboruntersuchungen mit standortspezifischen Materialproben durchgeführt. Die Richtigkeit der geomechanischen Modellrechnungen wurde durch Vergleich der Rechenergebnisse mit In-situ-Messungen gezeigt.

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

Zur Gasproduktion durch Korrosion von Metallen und Zersetzung organischer Stoffe wurden ebenfalls begleitende Modellrechnungen unter Berücksichtigung einer Vielzahl möglicher Reaktionen durchgeführt. Die in diesen Rechnungen verwendeten Parameterwerte 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 der Konsequenzanalyse wurden aus den begleitenden Modellrechnungen zur Gasproduktion abgeleitet.

Im Stilllegungskonzept sind überwiegend Streckenabdichtungsbauwerke aus Salzbeton vorgesehen. Nur die Abdichtung im Hauptanhydrit auf der 4. Sohle zum Ostfeld besteht aus Magnesiabeton. Beide Materialien können durch Salzlösung korrodiert werden. Die Modellansätze zur Beschreibung der Permeabilitätszunahme der Abdichtungen aus Salzbeton als Folge des Durchsickerns magnesiumhaltiger Lösungen wurden aus Laboruntersuchungen abgeleitet. Hierbei wurden die vorgesehenen Materialzusammensetzungen und die zu erwartenden Lösungszusammensetzungen berücksichtigt. Die Laboruntersuchungen wurden durch begleitende geochemische Modellrechnungen abgesichert und extrapoliert. Auch die Korrosion des Magnesiabetons ist mit einer Permeabilitätszunahme verbunden. Bei geringer Magnesiumkonzentration der angreifenden Lösung findet eine Umwandlung der magnesiumhaltigen Phasen statt. Die dazu durchgeführten geochemischen Modellrechnungen beruhen auf experimentell gut fundierten Daten.

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 Ergebnisse der Modellrechnungen zur Grundwasserbewegung sind die Fließgeschwindigkeit und Fließrichtung im Hutgestein sowie die Auswirkungen einer Auspressung von Lösung aus den Grubengebäuden durch das Hutgestein von Bedeutung. Diese Modellrechnungen ergeben ohne Auspressen von Lösung aus dem Grubengebäude sehr geringe Lösungsbewegungen in größeren Tiefen, wo das Grundwasser einen hohen Salzgehalt aufweist. Oberhalb der Salzstruktur und insbesondere auch im Hutgestein herrschen bei niedrigen Fließgeschwindigkeiten ungefähr horizontale Bewegungsrichtungen quer zum Allertal in Richtung zum tieferreichenden, relativ gut durchlässigen Oberkreidetrog vor. Oberhalb der Grube Bartensleben verläuft nördlich dieses Trogs und nach Süden einfallend die in das Hutgestein eingelagerte Schichtenfolge DGL. Diese Schichtenfolge besteht aus den Schichten Deckanhydrit, Grauer Salztou und Leinekarbonat und weist gegenüber dem übrigen Hutgestein eine etwas erhöhte Durchlässigkeit auf (siehe Kapitel 1.4.2). In dieser Struktur ist die Grundwasserbewegung nach unten gerichtet. Insgesamt kann aus diesen Modellergebnissen abgeleitet werden, dass Lösung, die nach einem relevanten Lösungszutritt in die Gruben wieder aus den Gruben in das Hutgestein ausgepresst wird, sich in erster Linie aufgrund des Auspressprozesses im Hutgestein und Deckgebirge ausbreitet. Damit wird auch ein eventueller Radionuklidtransport durch das Hutgestein und Deckgebirge, der durch eine solche Lösungsauspressung ausgelöst werden kann, primär durch das Auspressen der Lösung aus den Grubengebäuden angetrieben.

Das Hutgestein über dem ERAM weist neben der oben erwähnten Schichtenfolge DGL nur in geringem Maße und über geringe Wegstrecken Strukturen mit etwas erhöhter Durchlässigkeit (wie z. B. offene Klüfte in Hauptanhydrit-Schollen oder Karsterscheinungen) auf. Diese wurden bei der Standorterkundung untersucht und charakterisiert. Sie sind an die Obergrenze und Randbereiche des Hutgesteins gebunden. Für einen eventuellen Radionuklidtransport aus den Gruben, der durch einen relativ mächtigen Bereich des Hutgesteins erfolgen muss, haben diese Strukturen keinen sicherheitsrelevanten Einfluss.

Für den Fall einer Lösungsauspressung aus den Gruben in das Hutgestein ergeben die Modellrechnungen drei Typen von Ausbreitungspfaden:

- (i) durch das Hutgestein im Südwesten der Schichtenfolge DGL in den Oberkreidetrog und entlang dessen Basis nach Nordosten ansteigend in oberflächennahes Grundwasser,

- (ii) entlang der Schichtenfolge DGL oder nordöstlich davon durch das Hutgestein und dann durch das Deckgebirge der Allertalzone in oberflächennahes Grundwasser und
- (iii) entlang der Schichtenfolge DGL oder nordöstlich davon durch das Hutgestein, dann entlang einer relativ durchlässigen Schicht des Deckgebirges nach Nordosten und durch die Schichten des Buntsandstein der Weferlinger Triasplatte in oberflächennahes Grundwasser.

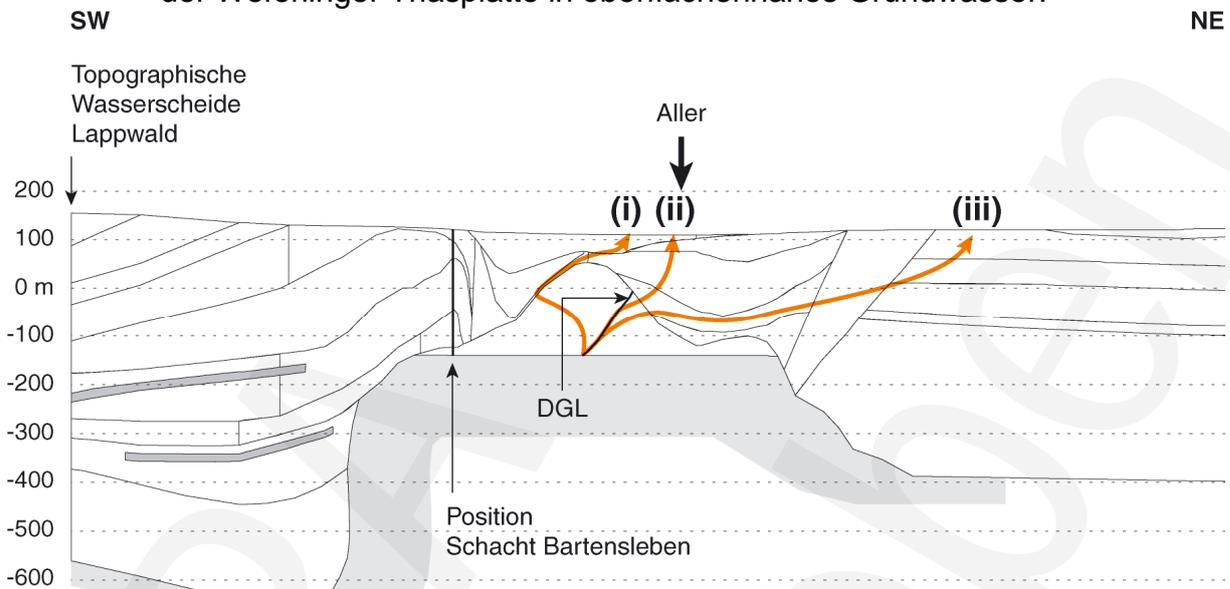


Abb. 5.4-1: Transportpfade durch das Hutgestein und das Deckgebirge (schematische Darstellung, abgeleitet aus Modellrechnungen).

Ohne Berücksichtigung von Sorptionsprozessen liegen die berechneten Zeiten für den Transport durch Hutgestein und Deckgebirge zwischen rund 1.000 Jahren und einigen 100.000 Jahren. Alle möglichen Pfade führen über mehr oder weniger lange Strecken durch geologische Schichten mit einem erheblichen Sorptionspotenzial. Deshalb weisen sorbierbare Radionuklide deutlich längere Transportzeiten auf.

Gestützt auf diese Modellergebnisse wird für die entsprechenden Szenarien des Langzeitsicherheitsnachweises angenommen, dass der Radionuklidtransport durch das Hutgestein und Deckgebirge (ohne die Transportabschnitte in der Kreide und im Quartär) entlang einer Wegsamkeit erfolgt, welche in Bezug auf Transportdistanz, Transportquerschnitt und Sorptionseigenschaften die Eigenschaften der Schichtenfolge DGL aufweist. Bei der in diesen Szenarien über eine lange Zeitperiode zu erwartenden, typischen Lösungsauspressrate ergibt dies eine Transportzeit für nicht-sorbierbare Radionuklide von rund 1.000 Jahren. Dies entspricht den kürzesten Transportzeiten, die mit den Modellrechnungen zur Grundwasserbewegung ermittelt wurden.

Der Lösungsaustritt aus den Grubengebäuden wurde konservativ unter Vernachlässigung des hydraulischen Widerstands des Hutgesteins und der resultierenden Druck-Rückkopplung auf die Konvergenz der Grubengebäude ermittelt.

Während des Transports durch das Hutgestein und das Deckgebirge erfährt die aus den Gruben ausgepresste Lösung eine Verdünnung. Die kumulierte Auswirkung der Verdünnungsprozesse lässt sich durch das Verhältnis des oberflächennahen Grundwasserumsatzes im Gebiet, in das Radionuklide freigesetzt werden, zur Rate der Lösungsauspressung aus den Gruben quantifizieren. Für den Langzeitsicherheitsnachweis wurde dafür – mit Hilfe der Grundwassermodelle – der Grundwasserumsatz in einem Gebiet ermittelt, welches quer zur Richtung des Grundwasserflusses eine Ausdehnung von 200 m aufweist.

Für die Charakterisierung der Schichtenfolge DGL – deren Eigenschaften der repräsentativen Wegsamkeit durch Hutgestein und Deckgebirge (ohne Kreide und Quartär) 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 festgelegt. 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. Modellunsicherheiten werden durch Variation diskreter Parameter abgebildet. Die Streuung von Parametern aufgrund der inhärenten Streuung von Messwerten wird in den probabilistischen Modellrechnungen ebenfalls berücksichtigt.

Berücksichtigte Effekte und deren Modellierung

Die nachfolgenden Ausführungen betreffen in erster Linie die Ausbreitung der Radionuklide über den Wasserpfad für die Szenarien mit relevantem Lösungszutritt. Einzelne Effekte, z. B. die Konvergenz und die Gasproduktion, sind auch für andere Szenarien, wie etwa für den Druckaufbau bei den Szenarien mit „trockener Grube“, d. h. bei den Entwicklungen des Endlagers mit höchstens vernachlässigbar geringem Lösungszutritt in die Gruben, 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 Abb. 5.4-2 schematisch dargestellt. Hierbei ist die übrige Grube in einen Mischungsbereich und in eine sonstige Restgrube unterteilt.

Für die Szenarien mit relevantem Lösungszutritt wurden die Zutrittsraten aus dem Hutgestein in die Restgrube aus hydraulischen Modellrechnungen unter Berücksichtigung geologischer und hydrogeologischer Befunde abgeleitet. Die ermittelten Zutrittsraten sind innerhalb eines weit gewählten Bereichs plausibel. Die Raten sind einerseits abhängig von der hydraulischen Leitfähigkeit der Wegsamkeit in der Salzstruktur, d. h. vom Salzspiegel bis in einen Grubenbau, und andererseits von der Permeabilität des Hutgesteins in der Umgebung der Wegsamkeit durch das Salinar. Von Bedeutung ist auch die Ausbildung der Grenze zwischen Salzstruktur und Hutgestein. Die Modellrechnungen haben ergeben, dass die Rate eines Lösungszutritts unter wahrscheinlichen Verhältnissen im Hutgestein und an der Grenze Hutgestein/Salzstruktur sowie bei einer hohen, ungünstigen Leitfähigkeit der Wegsamkeit in der Salzstruktur einige $10 \text{ m}^3/\text{a}$, bei ungünstigen Bedingungen an der Grenze Hutgestein/Salzstruktur höchstens einige $100 \text{ m}^3/\text{a}$ betragen kann. Unter Berücksichtigung der während des Lösungszutritts erfolgenden Konvergenz der Grubenbaue und der damit verbundenen Abnahme des lösungszugänglichen Volumens ergibt sich bei einem repräsentativem Wert von $180 \text{ m}^3/\text{a}$ und einer Bandbreite von $55 \text{ m}^3/\text{a}$ bis $600 \text{ m}^3/\text{a}$ eine Dauer für das Volllaufen der Restgrube zwischen 1.500 Jahren und 25.000 Jahren mit einem repräsentativen Wert von 7.500 Jahren.

Zu Beginn eines eventuellen Lösungszutritts ist die zutretende Lösung mit Sicherheit an Steinsalz gesättigt. Im Verlauf des Zutritts kann die Sättigung abnehmen. Für die Modellrechnungen wird als ungünstige, vereinfachende Annahme unterstellt, dass von Beginn an Süßwasser zutritt und sich dieses am Steinsalz (vollständig) und an den Kalilagern (zumindest teilweise) aufsättigt. Die entsprechenden Auf- und Umlöseprozesse in der Restgrube bewirken signifikante Vergrößerungen der dortigen Hohlräume; dies wird in den Modellrechnungen 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.

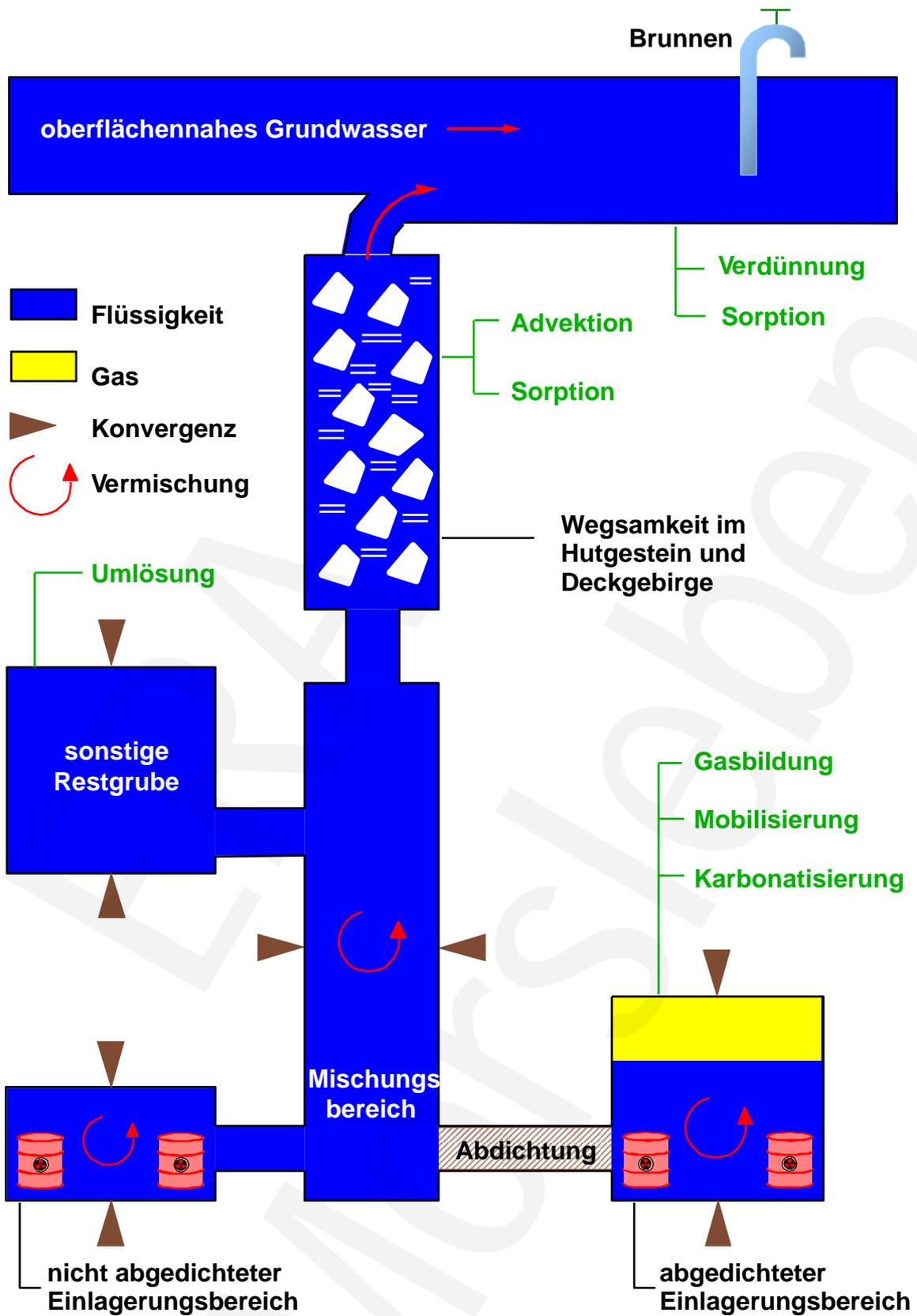


Abb. 5.4-2: Schematische Darstellung des Endlagersystems für die Ausbreitung über den Wasserpfad.

Aus der vollgelaufenen Restgrube sickert die Lösung durch die Abdichtungen in die abgedichteten Einlagerungsbereiche. Ein Zutritt über das intakte Salzgestein kann wegen dessen geringer Permeabilität nicht stattfinden. 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 wird zusätzlich auch die Möglichkeit betrachtet, dass eine Wegsamkeit über den Hauptanhydrit als parallele Wegsamkeit zu den Abdichtungen besteht. Für diese mögliche Wegsamkeit ist von zeitlich konstanten Eigenschaften auszugehen.

In den abgedichteten Einlagerungsbereichen führen die Gasproduktion und die Konvergenz der Gruben Hohlräume zu einem Druckanstieg, der den weiteren Lösungszutritt in den Einlagerungsbereich behindert. Darüber hinaus wird der ansteigende Flüssigkeitsspiegel in den Einlagerungsbereichen als Folge des Zutritts der Lösung ermittelt. Dieser verstärkt die Kompression des Gas/Luft-Gemisches und damit den Druckanstieg. Bei Erreichen des Druckgleichgewichts zwischen Einlagerungsbereich und Restgrube ist die Zutrittsphase beendet und die Auspressphase beginnt. Ob dabei auch Gas aus dem Einlagerungsbereich entweicht, hängt von verschiedenen Bedingungen ab. Darauf wird später eingegangen.

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 instantanen Mobilisierung der Radionuklide ausgegangen. Aufgrund des weitgehend ungehinderten Lösungszutritts in die nicht abgedichteten Einlagerungsbereiche wird eine frühzeitige Kontaminierung der Lösung in der Restgrube angenommen und in den Modellen berechnet.

Eine geochemische Rückhaltung in den Einlagerungsbereichen wird nur für Kohlenstoff als Folge der Karbonatisierung berücksichtigt. Weitere mögliche chemisch beeinflusste Rückhalte Mechanismen werden in den Einlagerungsbereichen vernachlässigt, da die chemischen Verhältnisse im Nahbereich der Abfälle im Allgemeinen nicht ausreichend genau vorhergesagt werden können. Für den Langzeitsicherheitsnachweis wird davon ausgegangen, dass die Radionuklide anteilmäßig mit der Lösung aus den Einlagerungsbereichen ausgepresst werden.

Die kontaminierte Lösung in den Einlagerungsbereichen wird durch die Konvergenz und durch die Gasspeicherung bei noch vorhandener Gasproduktion in die Restgrube ausgepresst. Hierbei kommt die kontaminierte Lösung mit unkontaminierter Lösung aus anderen Grubenbereichen in Kontakt und wird dementsprechend

verdünnt. Im Modell erfolgt dieser Prozess im sogenannten Mischungsbereich (Abb. 5.4-2). Der Transport der kontaminierten Lösung durch die Restgrube benötigt einige Zeit und wird durch sorptionsfähige Bestandteile im Versatz noch zusätzlich verzögert. Da die realen Verhältnisse in den Gruben jedoch schwer modelltechnisch abzubilden und zudem zum Teil nur grob bekannt sind, wird als ungünstige Annahme in den Konsequenzanalysen von einem raschen Transport ausgegangen und die Sorption am Versatzmaterial vernachlässigt. Durch die Konvergenz der Grubenbaue in der Restgrube wird kontaminierte Lösung schließlich aus den Gruben in das Hutgestein ausgepresst.

Wie bereits weiter oben ausgeführt, zeigen die Modellrechnungen zur Grundwasserbewegung, dass ein nach oben gerichteter advektiver Transport von aus der Salzstruktur austretenden Schadstoffen durch Hutgestein und Deckgebirge nur aufgrund eines Auspressens von Lösung aus den Gruben stattfinden kann. Als Transportpfad vom Salzspiegel durch Hutgestein und Deckgebirge (ohne evtl. Transportabschnitte in Kreide und Quartär) wird ein relativ kurzer Weg von 220 m Länge und begrenzter flächenhafter Ausdehnung zugrunde gelegt, der mit den Eigenschaften der Schichtenfolge DGL charakterisiert wird.

Bei der Festlegung des Sorptionsdatensatzes für den Transportweg durch Hutgestein und Deckgebirge, repräsentiert durch die Schichtenfolge DGL, wurde ein zweistufiges Vorgehen gewählt. Als Ausgangspunkt wurden die Sorptionsdaten für die Unterkreide im Deckgebirge des Endlagerstandortes Konrad gewählt. Deren lithologische Zusammensetzung entspricht in etwa derjenigen des Grauen Salztons in der Schichtenfolge DGL. Auch die pH-Werte und der Salzgehalt der in den Experimenten verwendeten Lösungen stimmen weitgehend mit denen überein, die für das ERAM erwartet werden. Daher werden die Sorptionsdaten für die Unterkreidetone am Standort des Endlagers Konrad auch für den Grauen Salztton der Schichtenfolge DGL verwendet, soweit keine direkten Messdaten vorliegen. Unter der Annahme, dass allein die Tonfraktion für die Sorption maßgeblich ist, wurden die K_d -Werte aus dem Konraddatensatz wegen des in der Schichtenfolge DGL etwas geringeren Tongehalts im Grauen Salztton um den Faktor 0,7 vermindert.

Mit diesem Sorptionsdatensatz wurde eine erste, vorläufige Sicherheitsanalyse durchgeführt, die auch eine probabilistische Variation sämtlicher Modellparameter beinhaltet. Bei der Auswertung der Resultate wurden diejenigen Radionuklide mit signifikantem Beitrag zur Summendosis identifiziert, für welche die Sorption beim Transport durch Hutgestein und Deckgebirge potenziell ein relevanter Prozess ist. Für die entsprechenden sechs Elemente Uran, Radium, Americium, Plutonium, Caesium und Kohlenstoff (als Karbonat) wurde ein Messprogramm zur Bestimmung der Sorptionskoeffizienten am Grauen Salztton der Schichtenfolge DGL definiert und durchgeführt. Dazu wurden vorab verschiedene Salzlösungen an unterschiedlichen Versatzstoffen konditioniert, um das Spektrum der Lösungszusammensetzungen, wie sie für die Grubengebäude und somit auch für die in das Hutgestein ausgepresste Lösung zu erwarten sind, möglichst abzudecken. In den so konditionierten Lösungen wurden die Radionuklide gelöst und anschließend damit die Sorptionsexperimente

am Grauen Salzion durchgeführt. Gegebenenfalls vorhandene Sorptionseigenschaften der übrigen Schichtglieder (Deckanhydrit, Leinekarbonat) der Schichtenfolge DGL würden vernachlässigt.

Im Ergebnis der Sorptionsexperimente zeigte sich eine gute Übereinstimmung mit den um den Faktor 0,7 reduzierten Sorptionswerten des Konraddatensatzes. Der für den Transport durch das Hutgestein verwendete Datensatz setzt sich also aus standortspezifischen Daten, die für die oben genannten wichtigen Elemente bestimmt wurden, und Literaturdaten zusammen. Unsicherheiten werden durch Variation der K_d -Werte in den probabilistischen Rechnungen abgedeckt.

Für die Berechnung der Konzentrationen kurzlebiger Tochternuklide von langlebigen freigesetzten Radionukliden im oberflächennahen Grundwasser wird angenommen, dass der Transport im Anschluss an den oben diskutierten Transportpfad durch Hutgestein und Deckgebirge, der durch die Eigenschaften der Schichtenfolge DGL charakterisiert wird, durch eine geologische Einheit mit den Eigenschaften der Oberen Alleringerslebener Schichten verläuft. Die Länge dieser Transportstrecke und die Abstandsgeschwindigkeit werden derart gewählt, dass diese Strecke für längerlebige Radionuklide keine signifikante Barriere darstellt. Die Sorptionsdaten wurden in Anlehnung an Daten vergleichbarer Sedimente der Oberkreide des Standortes Gorleben angesetzt und durch Ergebnisse von Sorptionsexperimenten an standortspezifischen Sedimentproben für einige Elemente ergänzt. Die Modellrechnungen zeigen, dass die Bedeutung der Sorption in der Transportstrecke „Obere Alleringerslebener Schichten“ für den Langzeitsicherheitsnachweis beschränkt ist.

Aus den sich im oberflächennahen Grundwasser einstellenden Radionuklidkonzentrationen wird die Strahlenexposition unter Verwendung von Dosiskonversionsfaktoren ermittelt. In diesen werden die heutigen Lebens- und Verzehrgeohnheiten von Referenzpersonen und die Aufnahme der Radionuklide über verschiedene Expositionspfade unter Verwendung von Sicherheitszuschlägen berücksichtigt.

Die beschriebenen Abläufe werden durch die beiden Rechenprogramme EMOS und PROSA nachgebildet, wobei es bei der konzeptuellen und numerischen Umsetzung Unterschiede in den Rechenprogrammen gibt. Bei den Modellrechnungen kommen zusätzlich unterschiedliche Strukturmodelle zur Anwendung, so dass sich die Modellrechnungen auch in ihrer geometrischen Abstraktion unterscheiden. Durch die parallele Vorgehensweise wird das Vertrauen in die Aussagekraft der erzielten Ergebnisse erhöht.

Das Strukturmodell der EMOS-Modellrechnungen ist in Abb. 5.4-3 dargestellt. Es unterscheidet die beiden Grubengebäude Marie und Bartensleben und berücksichtigt die Lage der Einlagerungsbereiche in Bezug auf die beiden Gruben. Für den abgedichteten Einlagerungsbereich West-Südfeld wird zwischen den Grubenbauen des Westfeldes und denjenigen des Südfeldes unterschieden. Durch die Anbindung des Westfeldes an das Südfeld ausschließlich auf Höhe der ersten Sohle kommt es – wie nach den geplanten Verfüllmaßnahmen zu erwarten – nur nach einem

entsprechenden Anstieg des Flüssigkeitsspiegels im Südfeld zu einem Zufluss in das Westfeld. Nach einem Lösungszutritt in das Westfeld erfolgt die Freisetzung von dort zunächst in das Südfeld und erst entsprechend verzögert in die Restgrube.

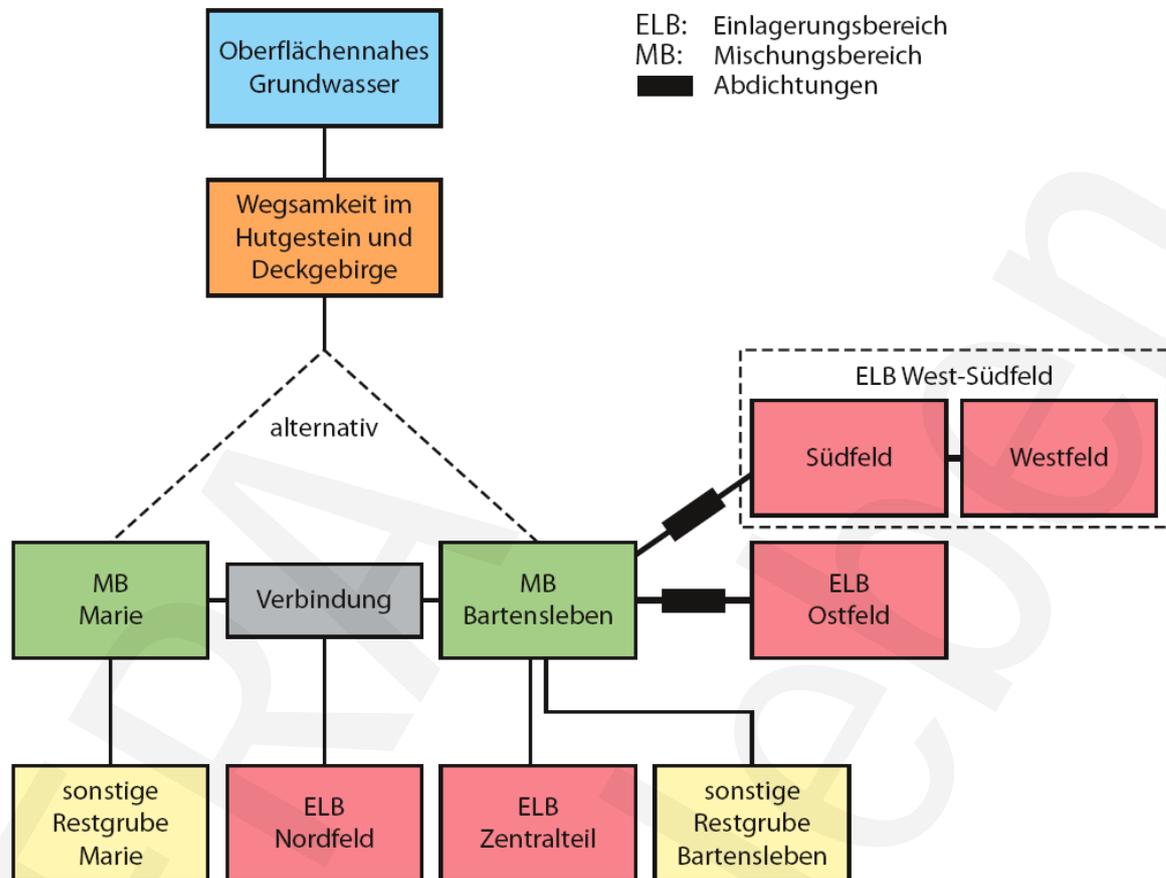


Abb. 5.4-3: Strukturmodell der EMOS-Modellrechnungen.

Das Strukturmodell der PROSA-Modellrechnungen ist in Abb. 5.4-4 dargestellt. Zwischen dem Westfeld und dem Südfeld wird nicht unterschieden, sondern es wird von einem gemeinsamen Einlagerungsbereich ausgegangen. Im Modell PROSA wird dadurch ein Lösungskontakt der Abfälle im Westfeld unterstellt, sobald Lösung in das Südfeld zugetreten ist. Die Restgruben Bartensleben und Marie werden zusammengefasst. Zum Ort des Lösungsübertritts in das Hutgestein braucht keine Annahme getroffen zu werden. Für alle Einlagerungsbereiche wird ein kurzer Transportpfad bis in das Hutgestein angenommen.

Die Modellansätze der beiden Rechenprogramme berücksichtigen die beschriebenen Effekte.

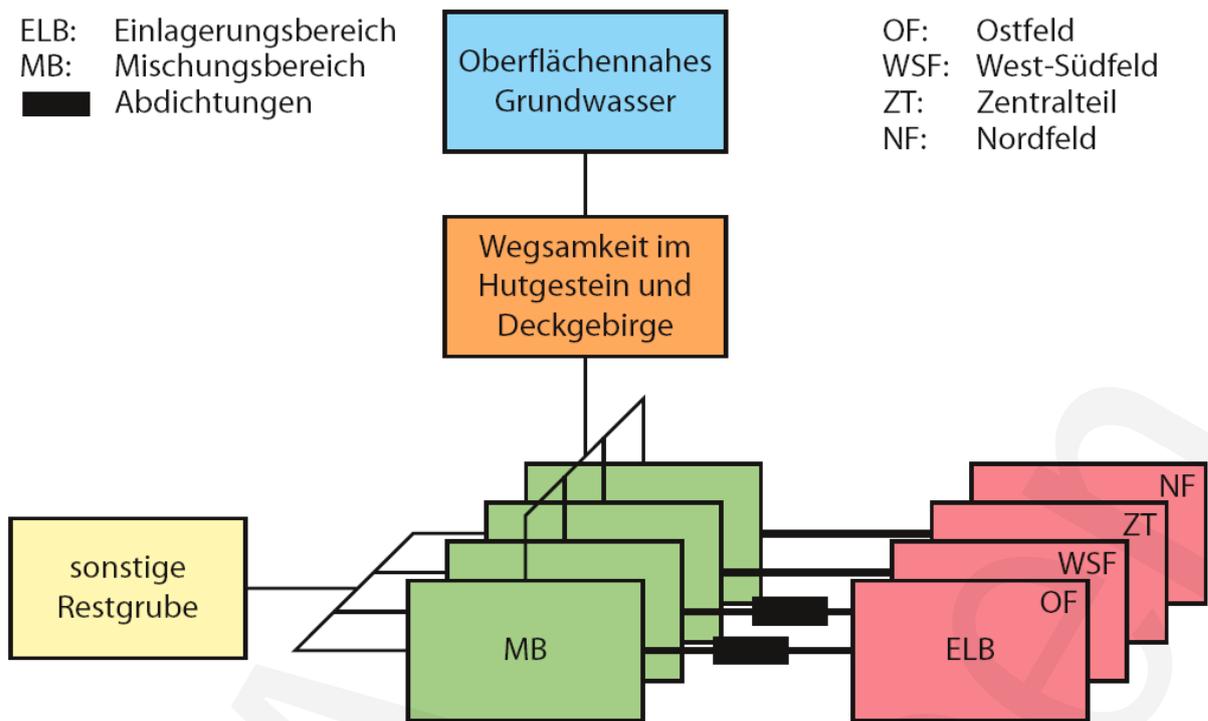


Abb. 5.4-4: Strukturmodell der PROSA-Modellrechnungen.

Bei einzelnen Effekten unterscheiden sich die beiden Rechenprogramme jedoch wie folgt: In EMOS werden bei den Abdichtungen der diffusive Transport und bei der Wegsamkeit im Hutgestein und Deckgebirge der diffusive und dispersive Transport zusätzlich berücksichtigt. In PROSA wird zusätzlich berücksichtigt, dass es beim Überschreiten eines kritischen Gasdrucks in einem abgedichteten Einlagerungsbereich zu einer Rissbildung im umgebenden Gebirge kommen kann, wodurch die Abdichtungen kurzgeschlossen werden. In PROSA wird zudem der Transport von gelöstem Methan berücksichtigt und die sich daraus ergebende Strahlenexposition durch C-14 berechnet. In EMOS wird das gelöste Methan nicht betrachtet, sondern die zugehörige Strahlenexposition durch C-14 durch eine separate Abschätzung ermittelt.

Die Gasfreisetzung aus einem abgedichteten Einlagerungsbereich wird in EMOS durch die Höhe des Gaseindringdrucks der Abdichtungen bestimmt, und der Strömungswiderstand der Abdichtungen wird vernachlässigt. Durch Betrachtung sehr geringer und sehr hoher Gaseindringdrücke werden somit Fälle unterschieden, bei denen das Gas aus dem Einlagerungsbereich entweicht oder vollständig dort verbleibt und Flüssigkeit auspresst. Hinsichtlich der unterschiedlichen Wirkung des Gases werden in PROSA drei Fälle betrachtet: Im ersten Fall wirkt das Gas nicht, im zweiten Fall verbleibt das Gas auch während der Auspressphase vollständig im Einlagerungsbereich und presst Flüssigkeit aus und im dritten Fall entweicht das Gas gleichzeitig mit der Flüssigkeit. Im letzten Fall wird die Gasfreisetzung aus einem abgedichteten Einlagerungsbereich durch einen gasspezifischen Strömungswiderstand bestimmt und der Gaseindringdruck vernachlässigt.

Bei der Modellierung der Konvergenz unversetzter Anteile der Grubenbaue werden in EMOS zusätzlich der Selbstversatz als Folge von Abschalungen und die sich daraus ergebende Stützwirkung berücksichtigt. In EMOS werden für die Restgrube zusätzlich die Gasproduktion sowie eine Gasspeicherung und Lösungsverdrängung berücksichtigt. Während in EMOS der Transport und der radioaktive Zerfall gekoppelt modelliert werden, wird in PROSA der Transport stabiler Spezies simuliert und der radioaktive Zerfall anschließend berücksichtigt. Die Beiträge der Tochternuklide in den Zerfallsreihen werden dabei konservativ abgeschätzt.

Die beschriebenen Effekte und die geometrischen Verhältnisse der Strukturmodelle wurden aus Laboruntersuchungen und In-situ-Untersuchungen sowie aus begleitenden Modellrechnungen zur Geomechanik, zur Geochemie und zur Grundwasserbewegung abgeleitet. Ausgewählte Eingangsdaten sind in Tab. 5.4-1 aufgeführt. Sie umfassen auch die sensitivsten Modellparameter (oberflächennaher Grundwasserfluss, Dauer des Volllaufens der Restgrube, Gasmenge aus Gasproduktion im Einlagerungsbereich West-Südfeld, Konvergenzraten, Anfangspermeabilität der Abdichtungen).

Tab. 5.4-1: Übersicht über ausgewählte Modellparameter (Referenzwerte).

Parameter	Einheit	Wert
Hohlraumvolumen der Restgrube	m ³	1,9·10 ⁶
Zunahme des Volumens der Restgrube durch Umlösung	m ³	1,7·10 ⁶
Hohlraumvolumen des West-Südfeldes	m ³	4,9·10 ⁵
Hohlraumvolumen des Ostfeldes	m ³	0,8·10 ⁵
Konvergenzrate der Restgrube	a ⁻¹	4,0·10 ⁻⁵
Konvergenzrate des Südfeldes	a ⁻¹	4,0·10 ⁻⁵
Konvergenzrate des Westfeldes	a ⁻¹	0,5·10 ⁻⁵
Konvergenzrate des Ostfeldes	a ⁻¹	1,0·10 ⁻⁵
Dauer des Volllaufens der Restgrube	a	7.500
Anfangspermeabilität der Abdichtungen	m ²	1·10 ⁻¹⁸
Gesamtgasmenge aus Gasproduktion im West-Südfeld (STP)	m ³	17,8·10 ⁶
Gesamtgasmenge aus Gasproduktion im Ostfeld (STP)	m ³	3,7·10 ⁶
Länge der Wegsamkeit im Hutgestein und Deckgebirge	m	220
wirksamer Querschnitt der Wegsamkeit im Hutgestein und Deckgebirge	m ²	150
Porosität der Wegsamkeit im Hutgestein und Deckgebirge	%	30
Grundwasservolumenstrom im oberflächennahen Grundwasser	m ³ /a	15.000

Das Hohlraumvolumen setzt sich aus unverfüllten Volumina sowie dem Porenraum des Salzgrusversatzes und der Abfälle zusammen. Das Hohlraumvolumen der Restgrube beträgt anfänglich etwa 1,9 Mio. m³. Bei Annahme eines Zutritts von Süßwasser in die Gruben erhöht sich der Hohlraum durch die Aufsättigung an Stein-

salz und die Umlösung an den Kalilagern je nach Zugänglichkeit dieser Lager auf maximal etwa 3,6 Mio. m³.

Die Hohlräume werden durch die Konvergenz im Laufe der Zeit verringert. Aufgrund der mechanischen Eigenschaften des Gebirges ist selbst für unverfüllte Grubenbaue von geringen Konvergenzraten in der Größenordnung von $4 \cdot 10^{-5}/a$ und für das West- und das Ostfeld sogar noch von deutlich kleineren Werten auszugehen. Die Stützwirkung des Fluids vermindert die Konvergenz im hydrostatischen Zustand um rund einen Faktor 30. Bei einer Dauer des Volllaufens der Restgrube ab Beginn Nachbetriebsphase von 7.500 Jahren und weitestgehender Umlösung an den Kalilagern wird zu Beginn der Auspressphase durch die Konvergenz allein ein Flüssigkeitsstrom von anfänglich etwa 6 m³ bis 8 m³ pro Jahr aus der lösungsgefüllten Restgrube in das Hutgestein ausgepresst.

Bei der Gasproduktion wird von einer weitgehenden Umsetzung aller gasproduzierenden Materialien ausgegangen. Dies führt zu einem Gasvolumen, welches unter Standardbedingungen deutlich über dem verfügbaren Hohlraumvolumen liegt. Die Gasproduktion in der Restgrube geht allerdings rasch zurück und ist zum Zeitpunkt, zu dem die Restgrube bei relevantem Lösungszutritt vollgelaufen ist, weitgehend abgeklungen. Die Rechnungen mit EMOS und PROSA verfolgen bezüglich der Gasproduktion etwas unterschiedliche Ansätze. Bei den Modellrechnungen mit PROSA wird davon ausgegangen, dass die Gasproduktion in der Restgrube bereits während des Volllaufens in vollem Umfang stattfindet, weil dafür ausreichend Feuchtigkeit zur Verfügung steht. Nach dem Volllaufen der Restgrube ist die Gasbildung dort bereits so weit abgeklungen, dass sie nicht mehr in relevantem Ausmaß zum Flüssigkeitsaustritt aus den Gruben beiträgt. Die Gasbildung im Nordfeld und Zentralteil wird aus Konservativitätsgründen jedoch erst nach dem Volllaufen der Restgrube unterstellt. Bei den Modellrechnungen mit EMOS wird dagegen als ungünstige Annahme der Beginn der Gasproduktion in der gesamten Restgrube erst mit dem Ende des Volllaufens der Restgrube unterstellt, sodass es unmittelbar danach zu einem erhöhten Ausstrom kontaminierter Flüssigkeit kommt.

Die anfängliche Gasproduktionsrate in der Restgrube liegt bei etwa 6.000 m³_{STP}/a, woraus sich bei einer Speicherung dieser Gasmenge in lösungs gesättigten Hohlräumen unter hydrostatischen Verhältnissen ein Volumenstrom verdrängter Lösung von etwa 120 m³/a ergibt. In den Modellrechnungen mit EMOS wird damit der anfängliche Flüssigkeitsaustritt aus den Gruben durch den Effekt der Gasspeicherung und nur wenig durch die Konvergenz bestimmt.

Bei einem Flüssigkeitsaustritt von 8 m³/a in das Hutgestein und einem Transport der ausgepressten Salzlösung ohne Verzögerung bis in oberflächennahes Grundwasser ergibt sich eine Verdünnung um den Faktor ca. 2.000. Aufgrund des Salzgehaltes der aus der Grube ausgepressten Lösung ist in jedem Fall eine Mindestverdünnung um den Faktor 500 Voraussetzung für die im Langzeitsicherheitsnachweis unterstellte intensive Nutzung des radionuklidhaltigen Grundwassers.

Druckanstieg in den trockenen Gruben

Falls es nicht zu einem signifikanten Zutritt von Wässern in die Gruben kommt (Szenarien zur „trockenen Grube“), werden die Verhältnisse in den Gruben nur durch die Gasproduktion und die Konvergenz bestimmt. Aufgrund der in den Abfällen und den Versatzstoffen vorhandenen Feuchtigkeit ist auch in diesem Fall von einer Gasproduktion auszugehen. Bei einer vollständigen Umsetzung der gasproduzierenden Materialien würden sich unter Bezug auf das anfängliche Hohlraumvolumen langfristig Gasdrücke für das West-Südfeld von 9,3 MPa und für das Ostfeld von 7,4 MPa ergeben.

Der zeitliche Verlauf des Druckaufbaus wurde mit Modellrechnungen unter Berücksichtigung der zeitlichen Entwicklung der Gasproduktion und der Konvergenz ermittelt. Die Stützwirkung durch den Gasdruck wurde bei der Konvergenz berücksichtigt. In Abb. 5.4-5 ist der Druckaufbau in den abgedichteten Einlagerungsbereichen und der Restgrube für den Fall vollständig undurchlässiger Abdichtungen dargestellt. Wenn man in den Berechnungen vollständig undurchlässige Abdichtungen unterstellt, werden ungünstige, hohe Werte für einzelne Bereiche der Gruben berechnet, weil es nicht zu einem Druckausgleich zwischen den Bereichen kommt.

Die ermittelten Gasdrücke werden mit dem Gebirgsdruck auf der 1. Sohle der Grube Bartensleben von 8,3 MPa verglichen. Solange der Gasdruck dort diesen Wert nicht überschreitet, ist keine Beeinträchtigung der Gebirgsintegrität zu erwarten. Sofern kein Druckausgleich zwischen dem West-Südfeld und der Restgrube erfolgen kann, wird für Zeiten nach 100.000 Jahren ein Überschreiten des Gebirgsdrucks auf der 1. Sohle für das West-Südfeld ermittelt (Abb. 5.4-5). Unter dieser Bedingung ist somit von der Entstehung von neuen Gaswegsamkeiten auszugehen, die den Abfluss von Gas aus dem West-Südfeld erlauben. Diese Wegsamkeiten bilden sich vermutlich als ausgedehntes System von Mikrorissen, die sich nach Abfall des Gasdrucks wieder schließen. Deshalb kann ein aufgrund dieser Prozesse initiiertes Lösungszutritt in die abgedichteten Einlagerungsbereiche ausgeschlossen werden.

Aufgrund des heutigen Wissensstandes ist jedoch nicht mit Sicherheit auszuschließen, dass sich stattdessen ein makroskopischer Riss bildet. Nicht prognostiziert werden kann für diesen Fall, an welcher Stelle sich gegebenenfalls Wegsamkeiten bilden und wohin sie führen werden. Angesichts der relativ mächtigen Salzbarriere zwischen dem West-Südfeld und dem Hutgestein ist die Bildung einer Wegsamkeit zur Restgrube wahrscheinlicher. Die Auswirkungen von Szenarien, bei denen eine solche Wegsamkeit als makroskopischer Riss ausgebildet wird, der zu späten Zeiten zu einem Lösungszutritt in das West-Südfeld führt, werden durch die Auswirkungen der Szenarien mit relevantem Lösungszutritt abgedeckt. In den Modellrechnungen mit PROSA wird bei einem Ansteigen des Gasdrucks über den Gebirgsdruck auf der obersten Sohle des entsprechenden Grubenbereichs die Bildung eines makroskopischen, hoch durchlässigen Risses unterstellt.

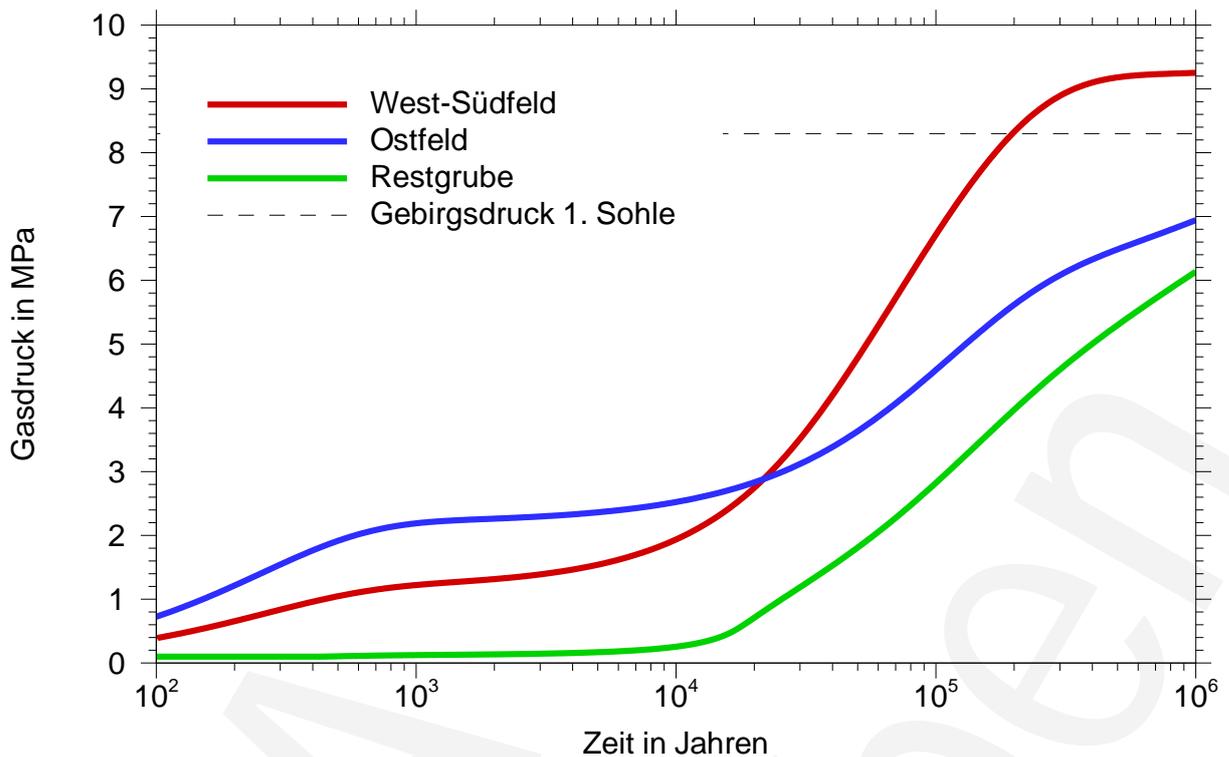


Abb. 5.4-5: Zeitliche Entwicklung der Gasdrücke in den Einlagerungsbereichen und der Restgrube ohne Lösungszutritt.

Aus den Modellrechnungen kann geschlossen werden, dass ein Anstieg des Gasdrucks im Endlager auf den lithostatischen Gebirgsdruck bei der Entwicklung „trockene Grube“ wenig wahrscheinlich ist und frühestens nach mehr als 100.000 Jahren eintreten kann. Insgesamt stellt die Entwicklung „trockene Grube“ somit keine Systementwicklung dar, welche zu einer sicherheitlich bedeutsamen Freisetzung von Radionukliden aus dem Endlager führen kann.

Ausbreitung über den Wasserpfad

Bei der Ermittlung der Konsequenzen für die Szenarien mit relevantem Lösungszutritt wird von einer Rate des Lösungszutritts in die Restgrube ausgegangen, die in einer plausiblen und weit gefassten Bandbreite variiert wird (vgl. die Ausführungen weiter oben im Kapitel „Berücksichtigte Effekte und deren Modellierung“). Die resultierende Dauer für das Volllaufen der Restgrube liegt zwischen 1.500 Jahren und 25.000 Jahren mit einem repräsentativen Wert von 7.500 Jahren.

In den Modellrechnungen mit EMOS und PROSA wird der Prozess, wie sich die Gruben mit Lösung füllen, nicht detailliert nachgebildet. Stattdessen werden die Abnahme der Hohlraumvolumina in den Gruben, die Gasbildung entsprechend den in den einzelnen Grubenbereichen vorhandenen Stoff- und Lösungsmengen sowie

der resultierende Anstieg des Gasdrucks in den Grubenbereichen während der Phase des Lösungszutritts berechnet, ohne den Lösungszutritt selbst in die Berechnungen einzubeziehen. Am Ende der Phase des Volllaufens, deren Dauer als Eingangparameter vorgegeben wird, wird dann ein rascher Wechsel von einer trockenen Restgrube zu einer vollgelaufenen Restgrube unterstellt. Diese Vereinfachung der Modellrechnungen ist zulässig, denn sie führt in vieler Hinsicht zu ungünstigeren Ergebnissen als eine Berücksichtigung des allmählich ansteigenden Lösungspegels in der Restgrube.

Der sich anschließende langsame Zutritt von Lösung in die abgedichteten Einlagerungsbereiche, die Kontamination der Lösung sowie die Ausbreitung der kontaminierten Lösung in den Gruben und im Deckgebirge werden durch die beiden Rechenprogramme EMOS und PROSA nachgebildet. Als wesentliches Ergebnis wird in beiden Fällen die potenzielle jährliche Strahlenexposition als Funktion der Zeit ermittelt.

Es ist davon auszugehen, dass die kürzesten Abdichtungen zwischen Südfeld und Restgrube, die auf der 3. und 4. Sohle liegen, zuerst ausfallen. Dann kann nicht garantiert werden, dass entstehendes Gas über die noch weitgehend intakten Abdichtungen auf höheren Sohlen oder andere Gaswegsamkeiten im oberen Grubenbereich entweichen kann. Deshalb ist mit dem Aufbau eines Gaspolsters im Südfeld und dem Einfluss dieses Prozesses auf die Lösungsauspressung aus dem Einlagerungsbereich zu rechnen.

Für die Darstellung der Ergebnisse wird für EMOS zunächst der gewählte Referenzfall mit einem Lösungszutritt in die Grube Bartensleben bei hohem Gaseindringdruck der Abdichtungen und für PROSA der Rechenfall mit Gaspolster im Einlagerungsbereich und ohne Gasfluss durch die Abdichtungen betrachtet. Die entsprechenden Ergebnisse sind in den Abb. 5.4-6 und Abb. 5.4-7 dargestellt. Zur Charakterisierung der Bandbreiten der berechneten Strahlenexpositionen aufgrund der Streuung der Eingangparameter werden anschließend die Ergebnisse der zugehörigen probabilistischen Modellrechnungen erläutert.

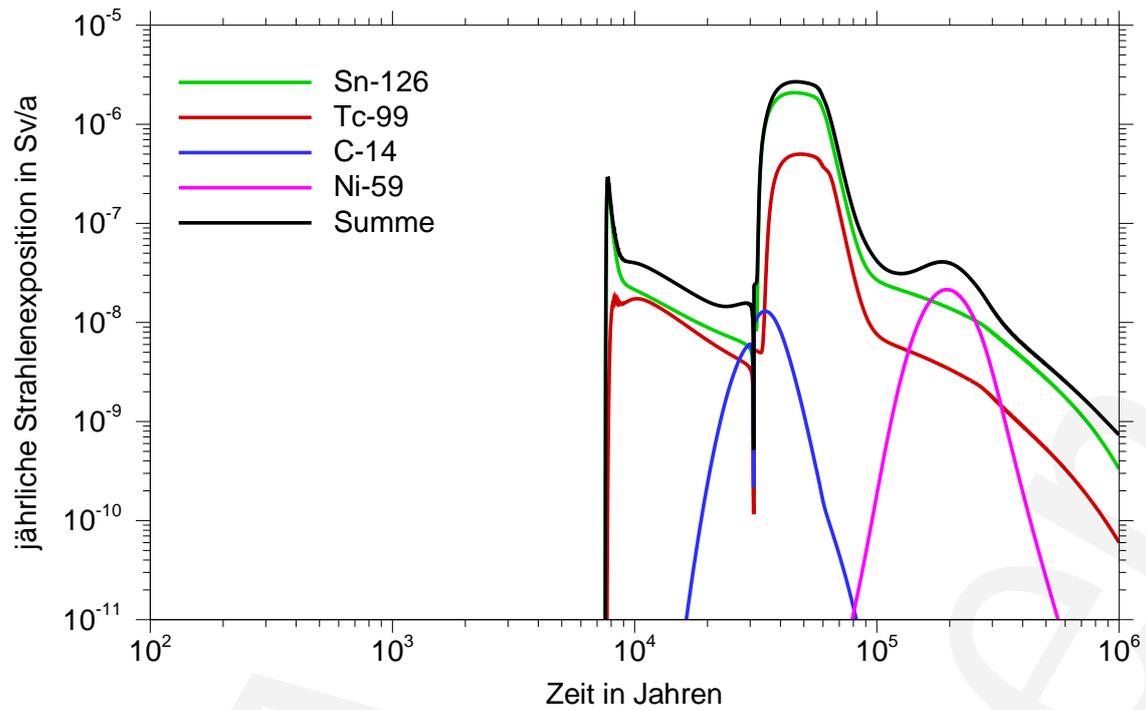


Abb. 5.4-6: Strahlenexposition infolge Radionuklidausbreitung über den Wasserpfad (EMOS).

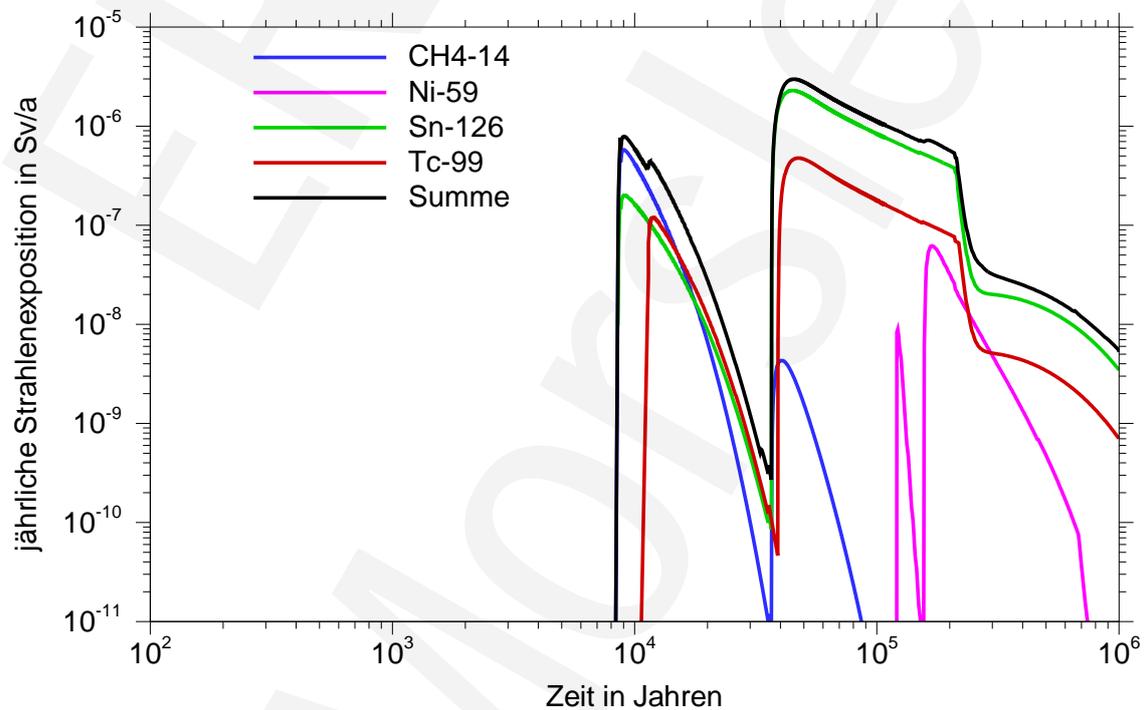


Abb. 5.4-7: Strahlenexposition infolge Radionuklidausbreitung über den Wasserpfad (PROSA) (CH4-14 steht für $^{14}\text{CH}_4$).

Die Mobilisierung der Radionuklide in den nicht abgedichteten Einlagerungsbereichen erfolgt gleichzeitig mit dem Volllaufen der Restgrube. Unmittelbar danach

gelangen somit Radionuklide aus den Einlagerungsbereichen Nordfeld und Zentralteil in die Restgrube. Als Folge kommt es bei beiden Modellen zu einer Freisetzung von Radionukliden und zu einem ersten lokalen Maximum der errechneten jährlichen Strahlenexposition. Der scharfe Peak bei der Modellrechnung mit EMOS ist auf die Gasbildung in der Restgrube zurückzuführen, die bei diesem Modell erst mit dem Ende des Volllaufens der Restgrube beginnt. Bei PROSA wird dagegen nach dem Volllaufen der Restgrube die Gasbildung außerhalb der abgedichteten Einlagerungsbereiche nur in den Einlagerungsbereichen Nordfeld und Zentralteil berücksichtigt, was im Modell einen etwas langsameren Transport der Radionuklide aus diesen Einlagerungsbereichen durch Hutgestein und Deckgebirge zur Folge hat. Daher erscheint das Maximum bei EMOS um ca. 1.000 Jahre früher als bei PROSA.

Der Zutritt von Lösung in die abgedichteten Einlagerungsbereiche ist zunächst wegen der geringen Permeabilität der Abdichtungen äußerst gering. Erst durch die langsame Zunahme der Permeabilität als Folge der chemischen Wechselwirkungen beim Zutritt von Salzlösungen in die Abdichtungen kann es zu einem merklichen Zutritt in die Einlagerungsbereiche kommen. Durch den sich in den abgedichteten Einlagerungsbereichen aufbauenden Gasdruck wird der Zutritt zusätzlich verzögert. Insoweit trägt die Gasproduktion auch dazu bei, die Radionuklidfreisetzung zu verzögern und zu verringern. Beim Sicherheitsnachweis mit EMOS setzt die Gasbildung ein, sobald die Restgrube vollgelaufen ist. Beim Modellkonzept von PROSA beginnt die Gasbildung bereits zum Zeitpunkt des Endlagerverschlusses mit der zu Beginn im Einlagerungsbereich verfügbaren Wassermenge. Wenn diese verbraucht ist, wird die Gasbildung im betreffenden abgedichteten Einlagerungsbereich unterbrochen, bis eine signifikante Flüssigkeitsmenge durch die Abdichtungen zugetreten ist. Aus dieser Art der Modellierung ergibt sich bei PROSA in der Zutrittsphase ein etwas geringerer Gasdruckaufbau in den abgedichteten Einlagerungsbereichen, während in der Auspressphase die Gasbildungsrate und damit auch die gasinduzierte Auspressung radionuklidhaltiger Lösung höher ist als bei EMOS.

Der Lösungsstrom in den Einlagerungsbereich Ostfeld ist aufgrund der deutlich längeren Abdichtungen und des damit verbundenen größeren hydraulischen Widerstands erheblich geringer als der in den Einlagerungsbereich West-Südfeld. Dazu kommt, dass der Gasdruck im Ostfeld aufgrund des größeren Verhältnisses aus Gasbildungsrate und Gesamthohlraumvolumen schneller ansteigt, was den Lösungszutritt zusätzlich vermindert. Aus diesem Grund treten im Referenzfall nur geringe Lösungsmengen zu und die Abdichtungen bleiben weitgehend unkorrodiert.

Die Auspressphase beginnt nach EMOS für das West-Südfeld nach 31.000 Jahren und nach PROSA nach 35.000 Jahren.

Bei den berechneten Strahlenexpositionen erkennt man in beiden Fällen 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 $8 \cdot 10^{-7}$ Sv/a und tritt nach 9.000 Jahren auf. Die Zeitdifferenz ist durch die unterschiedlichen Annahmen zur Gasbildung zu erklären. Das Maximum wird nach EMOS durch Sn-126 und nach PROSA durch das C-14 im gelösten Methan verursacht. Das zweitwichtigste Radionuklid in diesem Zeitintervall ist bei PROSA ebenfalls Sn-126.

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. Es wird durch Sn-126 verursacht. Das entsprechende Maximum liegt nach PROSA bei $3 \cdot 10^{-6}$ Sv/a, tritt ebenfalls 45.000 Jahren auf und wird auch durch Sn-126 verursacht.

Nach den Modellrechnungen mit EMOS führt die Gasproduktion nach Korrosion der Abdichtung zur allmählichen Verdrängung der kontaminierten Lösung, bis der Lösungsspiegel im Südfeld auf das Niveau der 3. Sohle abgesunken ist. Weiterhin entstehendes Gas kann dann über die dortige Abdichtung abströmen, ohne Lösung zu verdrängen. Deshalb geht die Freisetzung dann wieder deutlich zurück. Dies ist nach ca. 60.000 Jahren der Fall. Bei der Modellierung mit PROSA wird die gesamte Flüssigkeit aus dem West-Südfeld verdrängt, so dass die Auspressphase ca. 200.000 Jahre dauert.

Dass die Maxima der mit EMOS und PROSA berechneten Strahlenexpositionen trotzdem nahezu gleich hoch sind, liegt daran, dass EMOS berücksichtigt, dass wegen des im Südfeld eingeschlossenen Gases keine Flüssigkeit über das an der 1. Sohle angeschlossene Großbohrloch in das Westfeld überfließen kann, weshalb das Radionuklidinventar aus dem Westfeld nicht mobilisiert wird. PROSA berücksichtigt diesen Effekt nicht, wodurch die mobilisierte Menge an Sn-126 etwa doppelt so hoch ist wie mit EMOS. Das führt bei der größeren Lösungsmenge im Einlagerungsbereich aber insgesamt zu ähnlichen Konzentrationen an Sn-126 in der ausgepressten Lösung und somit zu einer ähnlichen maximalen Freisetzungsrates.

Nachdem sämtliche Lösung aus dem West-Südfeld ausgepresst ist, geht die berechnete Strahlenexposition rasch zurück. Bei EMOS gibt es noch eine geringe Freisetzung von Radionukliden aus dem Südfeld aufgrund der langsamen Auspressung der verbliebenen Restlösung durch die weiter fortschreitende Konvergenz. Bei beiden Modellen kommt zudem zu späten Zeiten die Radionuklidfreisetzung aus dem Einlagerungsbereich Ostfeld zum Tragen. Dort überschreitet bei EMOS nach etwa 300.000 Jahren der Gasdruck den hydrostatischen Druck auf dem Referenzniveau der Restgrube. Bei PROSA erfolgt dies bereits nach knapp 90.000 Jahren, nachdem durch die Abdichtungen insgesamt etwa 4.700 m^3 Lösung zugetreten sind. Das zu dieser Zeit verbleibende Gesamthohlraumvolumen des Einlagerungsbereichs ist damit nur zu etwa 13 % mit Lösung gefüllt. Trotzdem wird im Modell angenommen, dass damit die Radionuklide aus den Abfällen mobilisiert und die radionuklidhaltige Lösung durch das Abdichtsystem ausgepresst wird. Das führt zu einem Beitrag von knapp $3 \cdot 10^{-8}$ Sv/a, dominiert durch Sn-126.

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

Die Auswirkungen der Streubreiten von Eingangsparametern und somit die Variabilität der Entwicklungen des Endlagersystems wurden mit probabilistischen Modellrechnungen untersucht. Deren Ergebnisse sind Wahrscheinlichkeitsverteilungen der maximalen jährlichen Strahlenexposition, unabhängig vom Zeitpunkt ihres Auftretens. In Abb. 5.4-8 sind die Wahrscheinlichkeiten für das Überschreiten der auf der Abzisse angegebenen Werte der jährlichen Strahlenexposition dargestellt. Mit EMOS wurden in 2.000 Simulationen keine Überschreitungen des Werts von 0,3 mSv/a nach § 47 Abs. 1 StrlSchV errechnet. Der höchste auftretende Wert beträgt 0,02 mSv/a. Nach PROSA wird der Wert von 0,3 mSv/a in vier von 2.000 Fällen geringfügig überschritten, der höchste auftretende Wert liegt hier bei 0,7 mSv/a. Der Wert von 0,03 mSv/a, der 1/10 des Wertes für die effektive Dosis von 0,3 mSv/a nach § 47 Abs. 1 StrlSchV entspricht, wird gemäß PROSA mit einer Wahrscheinlichkeit von 97 % bei einem Konfidenzgrad von 80 % unterschritten.

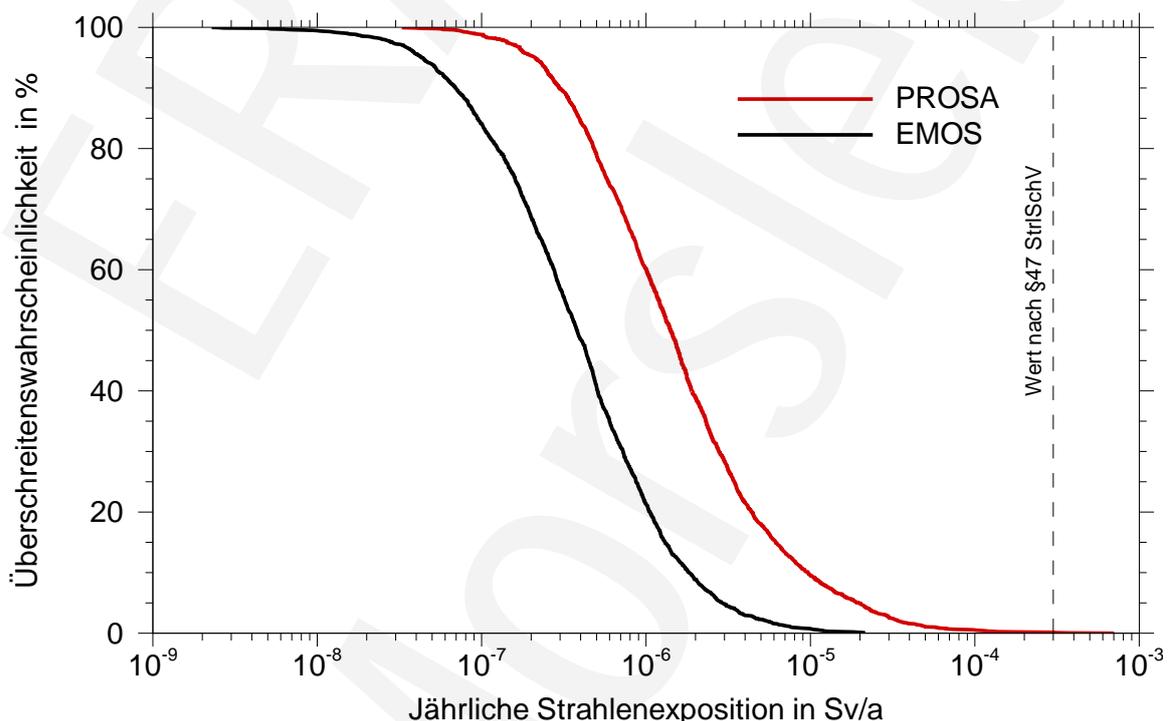


Abb. 5.4-8: Überschreitenswahrscheinlichkeit der maximalen Strahlenexposition.

In Sensitivitätsanalysen wurden als wichtigste Radionuklide Sn-126, Ra-226, U-234, C-14 und Np-237 ermittelt. Die wichtigsten Parameter sind der durch Radionuklide kontaminierte oberflächennahe Grundwasserfluss, die Dauer des Volllaufens der Rest-

grube, die Gasbildung im Einlagerungsbereich West-Südfeld, die Konvergenzraten, die Sorption im Hutgestein und im Deckgebirge sowie die Anfangspermeabilität der Abdichtungen. Im Referenzfall liegt die maximale Strahlenexposition von Ra-226 und Np-237 wegen deren Sorption in Hutgestein und Deckgebirge jeweils unterhalb von 10^{-9} Sv/a. In Abb. 5.4-6 und Abb. 5.4-7 sind sie deshalb nicht dargestellt.

Bei der Zersetzung organischer Stoffe entsteht neben Kohlendioxid auch Methan, welches neben dem inaktiven Kohlenstoff auch C-14 enthält. Beim Zutritt von Wässern in die Gruben kann das Methan zu einem geringen Anteil im Wasser gelöst und so bis in die Biosphäre transportiert werden. Die ablaufenden Prozesse sind weitgehend ähnlich wie beim Transport der sonstigen Radionuklide, jedoch ist die Änderung der Löslichkeit von Methan durch Druckänderung und die gleichzeitige Abnahme der Methankonzentration im Grundwasser durch Verdünnung beim Aufstieg aus den Einlagerungsbereichen bis in das oberflächennahe Grundwasser zu beachten.

In den Modellrechnungen mit PROSA wird die Freisetzung von gelöstem C-14-Methan unter Verwendung von konservativen Vereinfachungen gemeinsam mit der Freisetzung der anderen Radionuklide berechnet (Abb. 5.4-7). In den Modellrechnungen mit EMOS werden zur Ermittlung der resultierenden Strahlenexposition aus dem Transport des gelösten Methans in die Biosphäre konservative Abschätzungen mit einfachen Modellen durchgeführt. In den obersten Bodenschichten wird von einer Umwandlung von Methan in Kohlendioxid ausgegangen. Je nach Annahmen ergeben sich maximale Strahlenexpositionen zwischen 10^{-7} Sv/a und $4,5 \cdot 10^{-6}$ Sv/a, was mit den Ergebnissen von PROSA kompatibel ist.

Zusammenfassend lässt sich für eine mögliche Ausbreitung von Radionukliden über den Wasserpfad feststellen, dass das Schutzziel des Strahlenschutzes eingehalten wird und damit die erforderliche Schadensvorsorge nach dem Stand von Wissenschaft und Technik gegeben ist. Daneben zeigt auch eine Abschätzung der altersgruppenabhängigen Organdosis für den Referenzfall des früh lösungsgefüllten Endlagers die sichere Einhaltung der Schutzziele. Der Nachweis der Langzeitsicherheit wurde parallel und unabhängig mit zwei unterschiedlichen Modellkonzepten und Programmen durchgeführt. Beide Modellierungen bilden die komplexe Grubengeometrie und die zu berücksichtigenden Prozesse ausreichend konservativ ab. Die Ergebnisse der Modellrechnungen stimmen in ihren wesentlichen Resultaten und Aussagen überein. Das belegt insbesondere die Robustheit des Gesamtsystems und der Stilllegungsmaßnahmen.

Ausbreitung über den Gaspfad

Bei den Szenarien mit relevantem Lösungszutritt erfolgt neben einer Ausbreitung von Radionukliden über den Wasserpfad auch eine Ausbreitung über den Gaspfad.

Hierbei sind lediglich die flüchtigen Verbindungen des Radiokohlenstoffs (C-14) zu betrachten, die mit der Gasphase bis in die Biosphäre gelangen können. C-14 geht bei der mikrobiellen Zersetzung von organischen Stoffen als Methan oder Kohlendioxid in die Gasphase. Ein Teil des C-14 wird als Karbonat ausgefällt. C-14-haltiges Methan entsteht zudem, wenn das als Carbid im West-Südfeld eingelagerte C-14 mit Lösung in Kontakt gelangt.

Die Freisetzung von C-14 ist aus dem Nordfeld und aus dem West-Südfeld zu betrachten. Für das Nordfeld ist eine relativ frühzeitige Freisetzung möglich, da der Einlagerungsbereich gegenüber der Restgrube nicht abgetrennt ist. Aus dem West-Südfeld kann C-14 – außer bei einem Versagen der Abdichtungen – nur spät, nach Erreichen des Druckgleichgewichts zwischen Einlagerungsbereich und Restgrube, freigesetzt werden. In dieser Zeit zerfällt ein merklicher Anteil des C-14. Die anderen Einlagerungsbereiche können aufgrund des geringen Inventars oder eines späten möglichen Freisetzungsbegins vernachlässigt werden.

Die Untersuchungen zum Gaspfad wurden mit Hilfe zweier unterschiedlicher Modelle durchgeführt. Für das erste Modell wird folgendermaßen vorgegangen: Die Freisetzungsraten von C-14 ergeben sich einerseits aus der Rate des Gasaustritts aus der Restgrube in das Hutgestein und andererseits aus der C-14-Methankonzentration in der Gasphase zu Beginn des Gasaustritts. Die C-14-Methankonzentration wird unter Annahme einer raschen und weitgehenden Bildung von C-14-Methan aus den C-14-haltigen organischen Abfällen und einer raschen und vollständigen Bildung aus dem C-14-Carbid sowie der kumulierten Gasproduktion bis zum Beginn des Gasaustritts aus der Restgrube ermittelt. Die Rate des Gasaustritts wurde auf folgende Art abgeschätzt: Die Drosselung des Gasaustritts in das Hutgestein durch Kapillardruck- und weitere Gas/Wasser-Effekte im Gestein wurde mit einem speziellen Rechenprogramm simuliert, wobei die entsprechenden Parameter in einem weiten Bereich variiert wurden. Mit den Referenzwerten der Parameter ergibt sich eine Freisetzungsrate von C-14 in die Biosphäre von 1,3 MBq pro Jahr.

Für die Abschätzung der potenziellen resultierenden Strahlenexposition wird angenommen, dass das C-14-Methan in der ungesättigten Bodenschicht durch mikrobielle Oxidation vollständig in Radiokohlendioxid umgewandelt wird. Ein Expositionspfad führt dann über die Luft, entweder über den Inhalationspfad oder über Lebensmittelpfade und Pflanzen, welche Radiokohlendioxid assimiliert haben. Neben dem Szenarium, bei dem die Freisetzung in einer landwirtschaftlich genutzten Fläche stattfindet, wird auch ein extremes Szenario untersucht, bei dem der Aufstieg des Gases in geringer Teufe im Untergrund kanalisiert wird und in den Naturkeller eines Wohnhauses gelangt.

Bei einer Freisetzung in die Atmosphäre ergeben sich bei vollständiger lokaler Selbstversorgung aus der betroffenen landwirtschaftlich genutzten Fläche und dauerndem Aufenthalt auf dieser Fläche maximale potenzielle Strahlenexpositionen von 10^{-9} Sv/a bis 10^{-7} Sv/a.

Im extremen Fall einer Freisetzung in den Naturkeller eines Wohnhauses ist die berechnete Strahlenexposition um den Faktor 25 höher als bei einer Freisetzung in die Atmosphäre über einer landwirtschaftlich genutzten Fläche.

Für das zweite Modell ergibt sich die Freisetzung unmittelbar aus der mit EMOS durchgeführten Rechnung für den Wasserpfad und der darin ermittelten Produktion des gasförmigen C-14 als Folge der Zersetzung der organischen Stoffe. Eine Verzögerung der Freisetzung durch die Zeitdauer bis zur Auffüllung von Grubenbauen und der in dieser Zeit stattfindende radioaktive Zerfall wurden entsprechend berücksichtigt.

Beim Referenzfall für den Wasserpfad wurde als konservative Annahme ein hoher Gaseindringdruck für die Abdichtungen im West-Südfeld angenommen. Dies führt für den Gaspfad zu einer späten Gasfreisetzung nach etwa 80.000 Jahren und somit zu einem weitgehenden Zerfall des C-14 bis zum Freisetzungsbeginn. Weiterhin ist die Freisetzungsrates im Referenzfall gering. Beides führt zu einer nicht-konservativen Annahme über die Freisetzung der gasförmigen Radionuklide. Deshalb wurde für den Gaspfad im Gegensatz zu dem Wasserpfad der Rechenfall mit geringem Gaseindringdruck der Abdichtungen gewählt. In diesem Fall werden die Gase aus dem West-Südfeld bereits ab 30.900 Jahren über einen Zeitraum von weniger als 100 Jahren vollständig freigesetzt.

Als Ergebnis der Modellrechnungen ergab sich für das Nordfeld eine maximale Freisetzungsrates von $1,1 \cdot 10^7$ Bq/a und für das West-Südfeld eine maximale Freisetzungsrates von $6,9 \cdot 10^8$ Bq/a.

Nach der Freisetzung aus den Gruben erfolgt der Transport bis in die ungesättigte Bodenzone. Die dafür erforderliche Transportzeit wird nicht berücksichtigt. Die Gase können dann entweder wieder im Grundwasser gelöst werden oder über eine punktförmig angenommene Quelle in die Atmosphäre freigesetzt werden.

Bei einer Freisetzung in die Atmosphäre ergibt sich nach dem auch für eine Freisetzung über den Wasserpfad verwendeten Biosphärenmodell eine maximale potenzielle Strahlenexposition durch Ingestion in der Größenordnung von $2 \cdot 10^{-6}$ Sv/a bzw. durch Inhalation von $2 \cdot 10^{-12}$ Sv/a.

Unter der Annahme der Wiederauflösung des CO₂ im Grundwasser bis zur Gleichgewichtskonzentration mit der Atmosphäre wird eine CO₂-Konzentration von etwa $1,3 \cdot 10^{-2}$ mol/m³ erreicht. Die resultierende potenzielle Strahlenexposition aus der Nutzung des Grundwassers beträgt in diesem Fall $1,8 \cdot 10^{-5}$ Sv/a bei der Freisetzung aus dem Nordfeld und $3,4 \cdot 10^{-7}$ Sv/a bei der Freisetzung aus dem West-Südfeld.

Die berechneten Strahlenexpositionen über den Gaspfad übertreffen für bestimmte Zeitbereiche die Strahlenexposition durch Freisetzung von Radionukliden über den Wasserpfad um mehrere Größenordnungen. Dies gilt vor allem für den Zeitraum bis 10.000 Jahre. Dennoch wird der Wert von 0,3 mSv/a gemäß § 47 Abs. 1 StrlSchV sicher eingehalten.

5.4.4 Ergänzende Sicherheitsbetrachtungen

Die Langzeitsicherheit eines Endlagers wird in erster Linie über die Konsequenzanalysen für die relevanten Szenarien entsprechend den 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 werden der zeitliche Verlauf des Aktivitätsinventars im Endlager und die Indikatoren Radiotoxizitätskonzentration beim Wasserpfad und integrierte Freisetzung aus Teilbereichen des Endlagers dargestellt, und es werden das Gefährdungspotenzial der chemischen Schadstoffe im Endlager im Hinblick auf eine potenzielle Kontamination des Grundwassers sowie das Gefährdungspotenzial der eingelagerten Abfälle im Hinblick auf zukünftige menschliche Einwirkungen bewertet.

Aktivitätsinventar im Endlager

Die Aktivität der im ERAM eingelagerten Radionuklide nimmt gemäß deren 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. 5.4-9 dargestellt.

Die zu Beginn der Betrachtung am stärksten zum Aktivitätsinventar beitragenden γ/β -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 α -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.

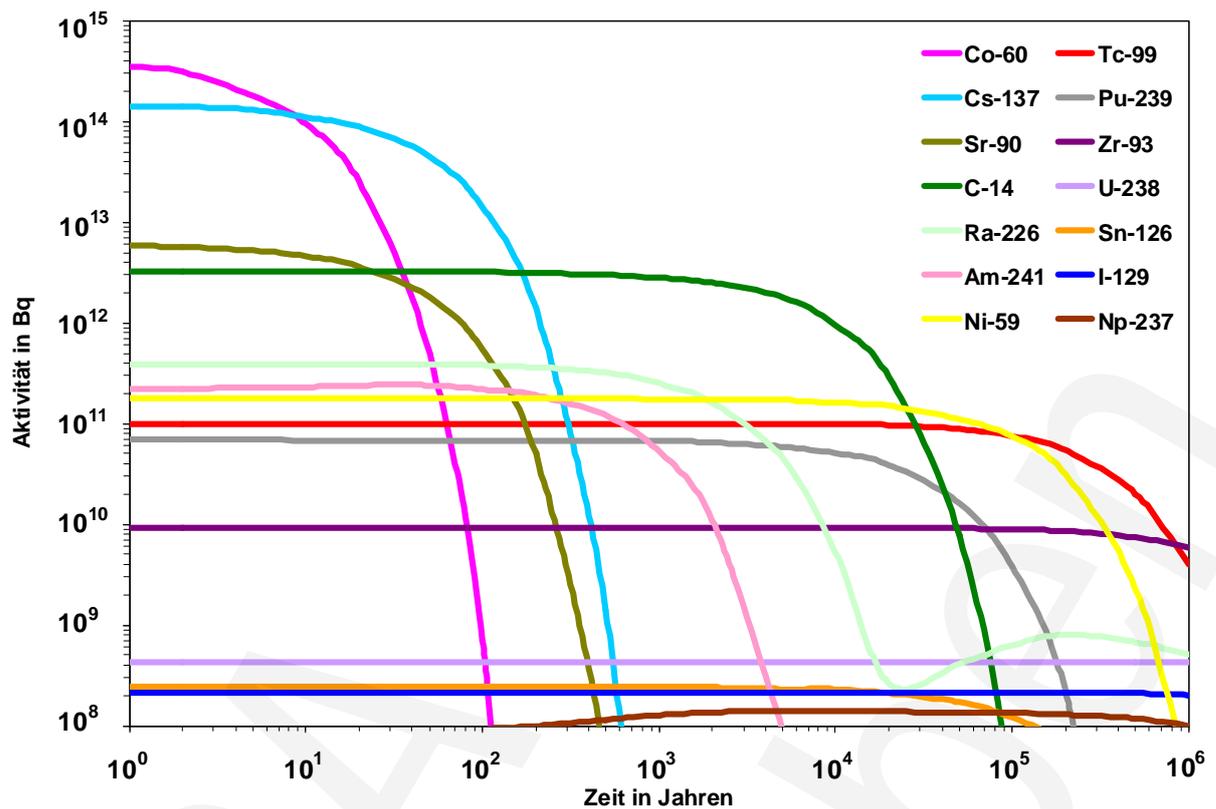


Abb. 5.4-9: Zeitliche Entwicklung des Aktivitätsinventars in den Abfällen.

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. Dabei bleibt der Zerfall nach dem Übertritt unberücksichtigt, sodass die Kurven immer monoton ansteigen. Da die Freisetzung aus jedem Teilbereich früher oder später zum Stillstand kommt, steigt der Wert des Indikators mit der Zeit auf einen charakteristischen Grenzwert. Ein Vergleich dieses Wertes mit der anfänglich in dem betreffenden Teilbereich vorhandenen Radiotoxizität zeigt, welcher Anteil davon insgesamt aus dem Teilbereich entweicht. Der Rest bleibt dauerhaft eingeschlossen oder zerfällt, bevor er den Teilbereich verlassen kann.

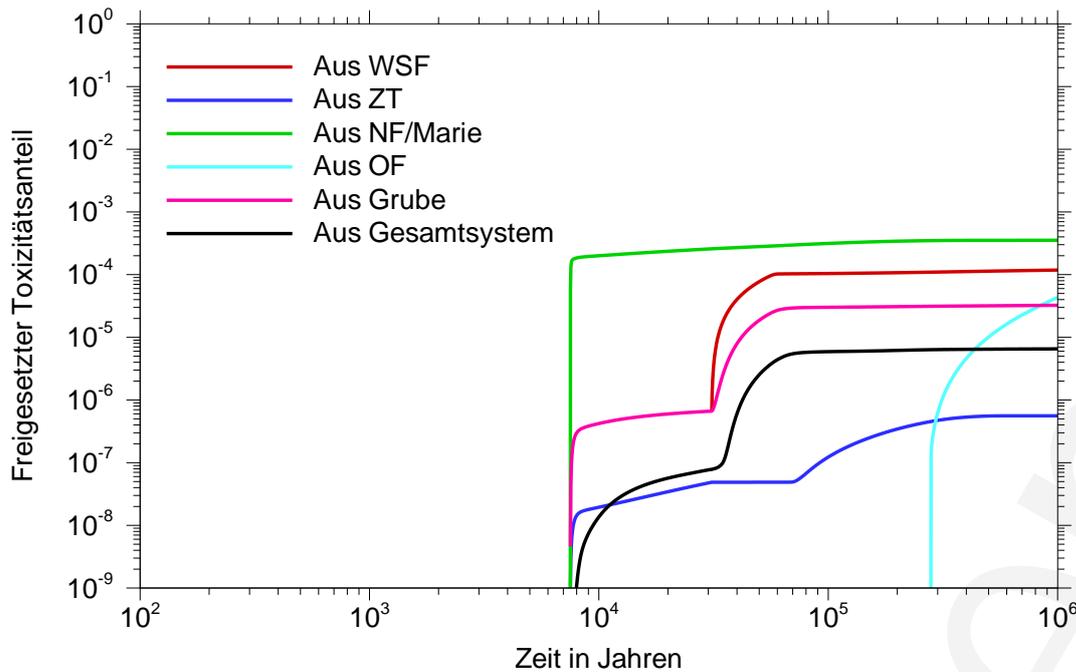


Abb. 5.4-10: Relative integrierte Freisetzung.

Abb. 5.4-10 zeigt die mit dem Programmpaket EMOS berechneten integrierten Radiotoxizitätsströme aus Teilbereichen des Endlagersystems bezogen auf die dort jeweils vorhandene Anfangsradiotoxizität:

- Aus WSF: aus dem Einlagerungsbereich West-Südfeld in die Restgrube,
- Aus ZT: aus dem Einlagerungsbereich Zentralteil in die Restgrube,
- Aus NF/Marie: aus dem Einlagerungsbereich Nordfeld (über die Grube Marie) in die Restgrube,
- Aus OF: aus dem Einlagerungsbereich Ostfeld in die Restgrube,
- Aus Grube: aus den Gruben in das Hutgestein sowie
- Aus Gesamtsystem: aus dem Gesamtsystem einschließlich des Deckgebirges in das oberflächennahe genutzte Grundwasser.

Man erkennt, dass aus keinem der Grubenbereiche mehr als ca. 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 seine 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 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 letzterem wird bis zum Ende des Szenariums weniger als 1/100.000 der anfänglich vorhandenen Radiotoxizität freigesetzt.

Die Abdichtungen des Ostfeldes werden aufgrund ihrer Länge von mehr als 100 m und des damit verbundenen hohen hydraulischen Widerstands nur auf einem Bruchteil ihrer Länge von der zutretenden Salzlösung angegriffen und chemisch verändert. Nach langer Zeit – gemäß EMOS nach 270.000 Jahren, gemäß PROSA nach 90.000 Jahren – übersteigt der Gasdruck im Einlagerungsbereich den Flüssigkeitsdruck in den Gruben. Danach wird entsprechend den Modellansätzen radionuklidhaltige Lösung aus dem Ostfeld ausgepresst. Die Radiotoxizität wird dabei durch das Ra-226 und dessen Zerfallsprodukte dominiert, das seinerseits Zerfallsprodukt der sehr langlebigen Nuklide U-238 → U-234 → Th-230 ist.

Szenarien aufgrund menschlicher Einwirkungen

Durch menschliche Aktivitäten wie Erkundungs- oder Bergbautätigkeiten können das Endlager und seine geologischen Barrieren in der Zukunft beeinträchtigt werden. Denkbare Szenarien eines zukünftigen unbeabsichtigten Eindringens in das Endlager sind mit

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

verbunden und wurden in Betracht gezogen.

Das Abteufen einer Erkundungsbohrung ist z. B. 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 werden aufgrund des hohen Salzgehaltes auf einer Deponie oder Salzhalde entsorgt. In den Materialien enthaltene Radionuklide würden mit dem Regenwasser nur sehr stark verdünnt in

das Grundwasser gelangen. Die daraus resultierende Freisetzung ist vernachlässigbar.

Der Zutritt 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 Zutritt 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 von Kavernen am Standort des ERAM 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 ERAM ausgeschlossen werden.

Gefährdungspotenzial chemischer Schadstoffe

Im Hinblick auf die wasserrechtlichen Bestimmungen des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) und des Wassergesetzes für das Land Sachsen-Anhalt (WG LSA) 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 für den Referenzfall des Langzeitsicherheitsnachweises mit PROSA durchgeführten Betrachtungen ist in Tab. 5.4-2 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. 5.4-2: 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	$5,03 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-2}$

6 ABKÜRZUNGEN, FACHBEGRIFFE, ABBILDUNGEN UND TABELLEN

6.1 ERLÄUTERUNG DER VERWENDETEN ABKÜRZUNGEN

Abb.	Abbildung
AN	Auftragnehmer
AOX	Adsorbierbare organische Halogenverbindungen
AtG	Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz)
AtVfV	Verordnung über das Verfahren bei der Genehmigung von Anlagen nach § 7 des Atomgesetzes (Atomrechtliche Verfahrensverordnung)
AVV	Entwurf der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV, Stand: 11/02
B	Bundesstraße
BAB	Bundesautobahn
BauGB	Baugesetzbuch
BauO LSA	Gesetz über die Bauordnung des Landes Sachsen-Anhalt
BBergG	Bundesberggesetz
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BGBI.	Bundesgesetzblatt
bGZ	Maßnahme zur bergbaulichen Gefahrenabwehr Zentralteil
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, kurz: Bundesumweltministerium
BNatSchG	Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz)

Bq	Becquerel
DB	Deutsche Bahn AG
DBE	Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH
DBG	Dauerbetriebsgenehmigung
DDR	Deutsche Demokratische Republik
DGL	Deckanhydrit, Grauer Salztun, Leine-Karbonat
DIN	Deutsche Industrie Norm
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.
DWD	Deutscher Wetterdienst
E	Himmelsrichtung Ost
EDR	Eindampfrückstand
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
EEC	equilibrium equivalent concentration (gleichgewichtsäquivalente Radonkonzentration)
EMS-98	Einheit der Intensität eines Erdbebens nach der Europäischen Makroseismischen Skala die „European Macroseismic Scale 1998“ ersetzt die MSK-Skala seit Januar 2000
EN	Europa Norm
ENE	Himmelsrichtung Ost-Nord-Ost
E-QMH	Endlager-Qualitätsmanagementhandbuch
ERAM	Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben
FC	Fasscontainer
FFH	Fauna-Flora-Habitat
FM	Frischmasse
GOK	Geländeoberkante
GVBl. LSA	Gesetz- und Verordnungsblatt des Landes Sachsen-Anhalt

HT	Wasserstoffmolekül mit Tritium-Atom
HTO	Tritium in wässriger Lösung
IAEO	Internationale Atomenergie-Organisation (International Atomic Energy Agency)
ICRP	International Commission on Radiological Protection (Internationale Strahlenschutzkommission)
ISO	International Organisation for Standardisation
KBÜ	Kontrollbereichsübergang
KKW	Kernkraftwerk
KTA	Kerntechnischer Ausschuss
L	Landstraße
LAWA	Bund / Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
LSG	Landschaftsschutzgebiet
LZSA	Langzeitsicherheitsanalyse
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
NSG	Naturschutzgebiet
NuP	Naturpark
NW	Himmelsrichtung Nord-West
PC	Primärcontainer
PE	Polyethylen
PFB	Planfeststellungsbeschluss

PS	Polystyrol
PVC	Polyvinylchlorid
QM	Qualitätsmanagement
QMR	Qualitätsmanagement-Rahmenbeschreibung
QMV	Qualitätsmanagement-Verfahrensanweisung
QS	Qualitätssicherung
REI	Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen
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
STP	Standard Temperature and Pressure
StrISchV	Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung)
SUS	Steuer- und Schutzsystem
Sv	Sievert (Einheit der 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
TGL	Technische Güte- und Lieferbedingung
TM	Trockenmasse
TOC	Gesamter organisch gebundener Kohlenstoff (Total organic carbon)

UMF	Untertage-Messfeld
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (Wissenschaftlicher Ausschuss der Vereinten Nationen zur Untersuchung der Auswirkungen der atomaren Strahlung)
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
UVPG	Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung
UVS	Umweltverträglichkeitsstudie
VBA	Verlorene Betonabschirmung
W	Himmelsrichtung West
WG LSA	Wassergesetz für das Land Sachsen-Anhalt
WHG	Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts
WSW	Himmelsrichtung West-Süd-West
ZfK	Zentralinstitut für Kernforschung Rossendorf

6.2 ERLÄUTERUNG DER VERWENDETEN FACHBEGRIFFE

Abfall, betrieblicher:	Abfälle, die der bergbaulichen Nutzung der Gruben Bartensleben und Marie und der Nutzung der Grube Bartensleben als Endlager für radioaktive Abfälle entstanden bzw. noch entstehen. Diese Abfälle werden einer internen bzw. externen Entsorgung zugeführt bzw. als radioaktiver Abfall im ERAM endgelagert.
Abfall, betrieblicher radioaktiver:	Betriebliche Abfälle, die radioaktiv i. S. des § 2 Abs. 1 AtG sind.
Abfall, potenziell kontaminierter betrieblicher	Betriebliche Abfälle aus den Strahlenschutzbereichen, für die wegen eines unverhältnismäßigen Aufwands nicht nachgewiesen wird, ob sie radioaktiv i. S. des § 2 Abs. 1 AtG sind oder nicht.
Abfall, radioaktiver:	Radioaktive Stoffe im Sinne des § 2 Abs. 1 des Atomgesetzes, die nach § 9a des Atomgesetzes geordnet beseitigt werden müssen.
Abfall, sonstiger betrieblicher	Betriebliche Abfälle, die nicht radioaktiv i. S. des § 2 Abs. 1 AtG sind.
Abfallgebinde:	Endzulagernde Einheit aus Abfallprodukt und Abfallbehälter.
Abfallprodukt:	Verarbeiteter radioaktiver Abfall ohne Verpackung oder unverarbeiteter radioaktiver Abfall in einem Behälter verpackt.
Abschiebung:	Eine Abschiebung ist eine Verwerfung (Störung), die ein Einfallen zur abgesenkten Scholle zeigt und eine Raumerweiterung bewirkt.
Abwerfen:	Außerbetriebsetzen von Grubenbauen.
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.
Aktiniden:	Aktinide ist die frühere Bezeichnung für Actinoide. Die Actinoide bilden eine Gruppe des Periodensystems, in der 15 ähnliche Elemente zusammengefasst sind. Alle Actinoide sind radioaktiv und gehören zu den Metallen (Ac, Th, Pa, U, Np, Pu, Am, Cm, Bk, Cf, Es, Fm, Md, No, Lr).
Altversatz:	Bereits vor der Stilllegung eingebrachter Versatz.
Anlage, kerntechnische:	Unter anderem Anlagen im Sinne der §§ 7 und 9a Abs. 3 Satz 1 Halbsatz 2 des Atomgesetzes (hier Endlager für radioaktive Abfälle).
Äquivalentdosis:	Siehe Dosis.
Auffahren:	Herstellen einer söhligem oder geneigten Strecke oder eines anderen Grubenbaus.
Aufschluss, geologischer:	Stelle an der Erdoberfläche, an der ansonsten durch Boden und/oder Pflanzenwuchs überdecktes Gestein freigelegt ist (z. B. Steinbruch).
Ausbau:	Sammelbegriff für alle Mittel, die zum Offenhalten und Sichern von Grubenbauen in diese eingebracht werden, z. B. Anker Ausbau mit Maschendraht.
Ausbiss:	Siehe Ausstrich.
Ausbreitungsfaktoren:	Rechenfaktor der Ausbreitungsrechnung bei der Emission von Schadstoffen bzw. radioaktiven Stoffen in die Atmosphäre, der die horizontale und vertikale Ausdehnung der Schadstoffwolke sowie die effektive Quellhöhe (einschließlich thermischer und/oder mechanischer Überhöhung) berücksichtigt.

Ausbreitungsrechnung:	Berechnung der Auswirkungen der Abgabe von Schadstoffen bzw. radioaktiven Stoffen mit der Abluft unter Berücksichtigung der meteorologischen Verhältnisse am Standort.
Ausrichtung:	Herstellen von Grubenbauen zur Erschließung einer Lagerstätte für den späteren Abbau.
Ausstrich:	Schnitt eines Gesteinskörpers mit der Erdoberfläche, auch als Ausbiss bezeichnet.
Bank:	Kompakte, mächtige Gesteinsschicht.
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.
Bemessungserdbeben:	Erdbeben mit der für den Standort größten Intensität, das unter Berücksichtigung einer näheren Umgebung des Standortes (200 km Umkreis) in der Vergangenheit aufgetreten ist.
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.

Bodenverflüssigung:	Vorgang, bei dem reversible Zähigkeitsänderungen (z. B. fest–flüssig–fest) in Sedimenten bestimmter Korngrößenverteilung lediglich durch mechanische Beeinflussung (z. B. Erschütterung) ohne besondere Wasserzugabe ausgelöst werden.
Braunerde:	Bodentyp des gemäßigt humiden Klimas aus unterschiedlichem Ausgangsgestein mit typischem braungefärbtem Verwitterungshorizont zwischen Ausgangsgestein und humusreichem Horizont.
Dilatanzkriterium:	Grenzbedingung für das Auftreten von mikroskopischen Rissen, die zur Volumenvergrößerung und über Risswachstum innerhalb eines langen Zeitraums zum Versagensfall Bruch führen.
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).
Einfallen:	Neigungswinkel einer Gebirgsschicht gegen die Horizontalebene.
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.

Einwirkungsstelle, ungünstigste:	Stelle in der Umgebung einer Anlage oder Einrichtung, an der aufgrund der Verteilung der abgeleiteten radioaktiven Stoffe in der Umwelt unter Berücksichtigung realer Nutzungsmöglichkeiten durch Aufenthalt oder durch Verzehr dort erzeugter Lebensmittel die höchste Strahlenexposition der Referenzperson zu erwarten ist.
Endlagerung:	Wartungsfreie, zeitlich unbefristete und sichere Beseitigung von radioaktivem Abfall ohne beabsichtigte Rückholbarkeit.
Endlagerungsbedingungen:	Unter Berücksichtigung von standortspezifischen Gegebenheiten des Endlagers festgelegte Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle.
Energiedosis:	Quotient aus der Energie, die durch ionisierende Strahlung auf das Material in einem Volumenelement übertragen wird, und der Masse in diesem Volumenelement. Maßeinheit: 1 Gy = 1 J/kg.
Epirogenese:	Tektonische Vorgänge, die über lange geologische Zeiten andauern, weitspannige Auf- und Abbewegungen der Kruste darstellen, jedoch das Gesteinsgefüge intakt lassen. Sie sind infolgedessen umkehrbar. Diese über mehrere Mio. Jahre andauernden Bewegungen können Intensitätsschwankungen unterliegen.
Fallout:	Bodenkontamination durch trockene Ablagerung.
Feld:	Allgemein gebräuchlicher Begriff zur betrieblichen Orientierung innerhalb eines Grubengebäudes.
Firste:	Obere Grenzfläche eines Grubenbaus.
fluviatil:	Von fließendem Wasser bewirkt; fortgetragen, abgelagert oder angereichert.
Füllort:	Übergangsbereich vom Schacht zum Grubengebäude.
Gammasubmersion:	Äußere Strahlenexposition des Menschen durch Gamma-Strahlung aus der Abluffahne.

Gauß-Krüger-Koordinatensystem:	Das Gauß-Krüger-Koordinatensystem ist ein Koordinatensystem, das es ermöglicht, jeden Punkt der Erde mit einer Gauß-Krüger-Koordinate (Rechts- und Hochwert) eindeutig darzustellen.
Generalstreichen:	Allgemeine (generalisierte) Streichrichtung geologischer Strukturen für ein bestimmtes Gebiet.
Geosphäre:	Raum parallel zur Erdoberfläche, in dem sich die Gesteinskruste (Lithosphäre) sowie die Wasser- (Hydrosphäre) und Lufthülle (Atmosphäre) berühren und gegenseitig durchdringen.
gleichgewichtsäquivalente Radonkonzentration (EEC):	Das Produkt aus Rn-222-Aktivitätskonzentration und Gleichgewichtsfaktor.
Gley:	Bodentyp in Niederungen und Senken, der durch hohen Grundwasserstand geprägt ist.
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.
Grundwassergleichen:	Gedachte Linien gleichen Grundwasserstandes, abgeleitet aus Messungen in Grundwasserpegeln.
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.
Hangendes:	Das eine Bezugsschicht überlagernde Gestein.
Haufwerk:	Aus dem Gebirgsverband herausgelöstes Gestein.
Hauptgrubenlüfter:	Für die Bewetterung benötigter Lüfter, der den Gesamtwetterstrom aufrecht erhält.

Hochwasser, mittleres:	Auch als „mittlerer Hochwasserabfluss“ (MHQ) bezeichnet; die höchsten Abflusswerte jedes einzelnen Jahres gemittelt über eine bestimmte Zeitspanne.
Hochwasserstand, mittlerer:	Die höchsten Wasserstände jedes einzelnen Jahres gemittelt über eine bestimmte Zeitspanne.
Hochwert:	Der Hochwert ist neben dem Rechtswert ein Bestandteil der Koordinate im Gauß-Krüger-Koordinatensystem und im UTM-Koordinatensystem. Er bezeichnet die Entfernung des Punktes zum Äquator in Metern.
Individualdosis:	Ganz- oder Teilkörperdosis, die von einer Person akkumuliert wird.
Ingestion:	Nahrungsaufnahme.
Isoklinaler Faltenbau:	Durch starke seitliche Einengung entstandene Falten, deren Schenkel parallel liegen.
Kammer:	Abbauraum von meist etwa rechteckigem Grundriss mit großen Abmessungen. Zwischen den Kammern bleiben Bergfesten oder Pfeiler zum Schutz der Kammer bzw. der Lagerstätte stehen.
Karbonatisierung:	Umwandlung in Karbonat.
Kaue:	Wasch- und Umkleideraum eines Bergwerkes.
Kluft:	Im Gebirge durch tektonische Vorgänge entstandener Riss.
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.
Kugelmasse, kleinste kritische:	Kleinste Spaltstoffmasse in Kugelform, die unter festgelegten Bedingungen (Art des Spaltstoffs, Reflexions- und Moderationsmedium) eine sich selbsterhaltende Kettenreaktion in Gang setzt.
Lagerstätte:	Anreicherungszone von abbauwürdigen Rohstoffen im Bereich der Erdkruste.
Lagerung:	Räumliche Anordnung von Gesteinskörpern.
Langzeit-Ausbreitungsfaktor:	Ausbreitungsfaktor, der die Verteilung von über einen längeren Zeitraum (Ganzjahr, Sommerhalbjahr) in die Atmosphäre abgegebenen Schadstoffen bzw. radioaktiven Stoffen beschreibt.
Langzeit-Falloutfaktor:	Verhältnis des Fallouts zu der kontinuierlich über einen längeren Zeitraum abgegebenen Aktivität.
Langzeit-Washoutfaktor:	Verhältnis des Washouts zu der kontinuierlich über einen längeren Zeitraum abgegebenen Aktivität.
Langzeitsicherheit	Langzeitsicherheit kennzeichnet den Sicherheitszustand des Endlagersystems nach Verschluss des Endlagers. Sie ist gegeben, wenn innerhalb des Nachweiszeitraumes nachsorgefrei keine Gefährdung von Mensch und Umwelt von den radioaktiven Abfällen ausgeht.

**Langzeitsicherheits-
analyse**

Unter Langzeitsicherheitsanalyse wird die Sicherheitsanalyse für die Nachbetriebsphase des Endlagers verstanden. Die Langzeitsicherheitsanalyse besteht aus der Entwicklung eines konzeptionellen Modells (Systemverständnis), der Szenarienanalyse und der Konsequenzanalyse, wobei mit Hilfe der Konsequenzanalyse die Auswirkungen auf die Schutzgüter quantitativ ermittelt und mit den Schutzziele verglichen werden.

**Langzeitssicherheits-
nachweis**

Eine Sammlung von Argumenten und Beweismitteln zur Demonstration der Langzeitsicherheit. Er besteht aus der Langzeitsicherheitsanalyse und weiteren Informationen über die Robustheit und Zuverlässigkeit der Sicherheitsbewertung und der ihr zugrunde liegenden Annahmen.

Liegendes:

Das eine Bezugsschicht unterlagernde Gestein.

Lithologie:

Gesteinskunde der Sedimentgesteine

Lutte:

Rohrleitungstück zum Ableiten von Grubenwettern.

Mehrbarrierenkonzept:

Konzept, in dem durch einzelne oder die Kombination (Summe) von geologischen und technischen Barrieren sichergestellt wird, dass nach menschlichem Ermessen keine unzulässige Freisetzung von radioaktiven und chemotoxischen Stoffen erfolgt.

Mischungsbereich:

Grubenbaue in der Restgrube, in denen sich Lösungsströme vermischen, bevor sie aus der Salzformation austreten.

Mittelwasser:

Auch als „mittlerer Abfluss“ (MQ) bezeichnet; arithmetischer Mittelwert der Abflüsse in einer Zeitspanne.

Mittelwasserstand:

Arithmetischer Wert der Wasserstände in einer Zeitreihe.

Moderation:

Vorgang, bei dem kinetische Energie der Neutronen durch Stöße ohne merkliche Adsorptionsverluste vermindert wird.

- Molch:** Kugelförmiger oder zylindrischer Körper, der eine Rohrleitung durchfährt und von einem Treibmittel (z. B. Druckluft) oder dem zu fördernden Medium (z. B. Salzbeton, Spülflüssigkeit) angetrieben wird. Molche dienen sowohl zur Trennung von verschiedenen Medien in Rohrleitungen als auch zur Reinigung der Rohrleitungswandung.
- Molchschleuse:** Apparatur zum Einsetzen und Absenden von Molchen am Beginn der Molchfahrt und zum Empfangen und Herausnehmen von Molchen aus der Rohrleitung nach absolvierter Molchfahrt.
- Nebengebirge:** Gesteinsschichten, die sich seitlich außerhalb der Salzstruktur befinden (Gesteinsschichten oberhalb der Salzstruktur: Deckgebirge).
- Niedrigwasser, mittleres:** Auch als „mittlerer Niedrigwasserabfluss“ (MNQ) bezeichnet; die niedrigsten Abflusswerte jedes einzelnen Jahres gemittelt über eine bestimmte Zeitspanne.
- Niedrigwasserstand, mittlerer:** Die niedrigsten Wasserstände jedes einzelnen Jahres gemittelt über eine bestimmte Zeitspanne.
- Normalnull (NN):** Höhenbezugsfläche in einem Höhenbezugssystem 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.
- Orographie:** Beschreibung der Landschafts- bzw. Geländeform.
- Parabraunerde:** Bodentyp, der durch vertikale Tonverlagerung innerhalb des Bodenprofils gekennzeichnet ist. Charakteristisch ist die Zone der Tonverarmung über der Zone der Tonanreicherung. U. a. vorwiegend auf Lössflächen und silikathaltigen eiszeitlichen Ablagerungen.

Pelosoil:	Bodentyp mit charakteristisch hohem Tongehalt und spezifischem Wasserhaushalt, hervorgegangen aus tonreichen Locker- oder Festgesteinen.
Permeabilität:	Durchlässigkeit eines Gesteins für Flüssigkeiten und Gase, abhängig von der Querschnittsgröße und -form der einzelnen Fließkanäle, deren räumlichem Verlauf und ihrer gegenseitigen Verknüpfung.
Pfeiler:	Zur Sicherheit von Grubenbauen oder der Tagesoberfläche stehengebliebener Lagerstättenteil.
Porosität:	Das Gesamtvolumen eines Gesteins setzt sich aus dem Volumen der festen Bestandteile und dem Volumen der Hohlräume oder Poren im Gestein zusammen. Die Gesamtporosität ist definiert als das Verhältnis von Porenvolumen zu dem Gesamtvolumen des Gesteins. Die effektive Porosität ist definiert als das Verhältnis des für die Durchströmung nutzbaren Porenvolumens zu dem Gesamtvolumen des Gesteins.
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.
Pseudogley:	Zeitweise vernässter Bodentyp mit meist schroffem Wechsel zwischen Nass- und Trockenphasen. Typisch marmoriertes Profilbild, das durch ständigen Wechsel von Staunässe und Austrocknung verursacht ist.
Qualitätssicherung:	Qualitätssicherung ist die Gesamtheit aller organisatorischen und technischen Maßnahmen zur Sicherung der Qualität.
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.
Radiotoxizität:	Maß für die Gesundheitsschädlichkeit eines Radionuklids im menschlichen Körper.
Rasenhängebank:	Unmittelbares Umfeld eines Schachtes im Niveau der Erdoberfläche.
Rechtswert:	Der Rechtswert ist neben dem Hochwert ein Bestandteil der Koordinate im Gauß-Krüger-Koordinatensystem und im UTM-Koordinatensystem. Er gibt die Entfernung des Punktes vom nächsten Mittelmeridian an.
Reinigungsmolch:	Siehe Molch.
Restgrube:	Gesamtes Grubengebäude ohne abgedichtete Bereiche.
Restgrube, sonstige:	Restgrube ohne Mischungsbereich.
Reststoff:	Beim Umgang mit radioaktiven Stoffen anfallender, verwertbarer oder nicht verwertbarer Abfall.
Richtstrecke:	Im Streichen der Lagerstätte aufgefahrene Strecke.
Salinare Lösungen:	Wässrige Lösungen mit unterschiedlicher Salzkonzentration.
Salzgebirge:	Das Salzgebirge besteht aus Salzgestein, Anhydrit und Salztonen.

Salzkissen:	Flache kuppelförmige Salzaufwölbung.
Salzspiegel:	Obere Grenzfläche von Salzstrukturen, etwa parallel zum Grundwasserspiegel, entstanden durch flächenhafte Lösung des Salzgesteins.
Schachthalle:	Gebäude über dem Schacht; auch als Schachthaus bezeichnet.
Schütterwirkung:	Beschreibt das Ausmaß der zeitweiligen Bodenbewegung der Erdoberfläche, die ab einer bestimmten Erdbebenstärke von Menschen gefühlt wird.
Schwarzerde:	Bodentyp mit mächtigem, humusreichem Horizont. Steppenbodenbildung auf kalkreichen Lockersedimenten. In Mitteleuropa als Reliktböden vorwiegend auf Lössflächen.
Sediment:	Durch Ablagerung von Verwitterungsprodukten sowie durch Mineralbildungen aus eindunstenden Salzlösungen (z. B. Meerwasser) entstandenes Gestein.
Seismizität:	Häufigkeit und Intensität der Erdbeben einer Region.
Sicherheitsanalyse:	Berechnungen und Untersuchungen möglicher radiologischer Auswirkungen eines Endlagers im bestimmungsgemäßen Betrieb, nach der Stilllegung und bei Störfällen.
Sicherheitsindikatoren:	Größe zur Bewertung und Eingrenzung der unterschiedlichen Arten von Prognoseunsicherheiten in unterschiedlichen Zeiträumen für Systeme und Untersysteme von Endlagern.
söhlig:	Horizontal.
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.
Stoß:	Seitliche Begrenzung eines Grubenbaus (z. B. Strecken-Stoß, Schacht-Stoß); auch jede Angriffsfläche für die Gewinnung (Abbau-Stoß).
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.
Stratigraphie (Formationskunde):	Lehre von der Aufeinanderfolge der Gesteinsschichten und Formationen sowie deren altersmäßige Zuordnung.
Strecke:	Tunnelartiger Grubenbau, der nahezu söhlig aufgefahren ist.
Streichen:	Richtung der Schnittlinie einer geologischen Fläche mit der Horizontalebene bezogen auf die Nordrichtung.
Strukturgeologie:	Teilgebiet der Geologie, das insbesondere die Bildungsmechanismen der tektonischen Strukturen behandelt.
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.
Tagesausstrich:	Siehe Ausstrich.
Tektonik:	Lehre vom Bau der Erdkruste und den Bewegungsvorgängen innerhalb der Kruste.
terrestrisch:	Bezeichnung für alle Vorgänge, Kräfte und Formen, die auf dem Festland vorkommen.
Teufe:	Tiefenlage unter der Tagesoberfläche.
Tiefe:	Lage unter Normalnull (NN).
Umladehalle:	Übernahmehalle der Transporteinheiten vom Waggon oder Lkw bzw. Übergabe der Tauschpalette an Waggon und Lkw.
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.
Washout:	Bodenkontamination durch Niederschlag.
Wetter:	Bergmännischer Begriff für Luft im Bergwerk.
Wetterführung:	Planmäßige Lenkung der Wetter durch das Grubengebäude.
Zechenbuch/Betriebs- handbuch:	Sammlung sämtlicher bergamtlicher Verwaltungsakte und Betriebsanweisungen.
Zementierung:	Fixierung von radioaktivem Abfall in einer Zementstein-/Betonmatrix.
Zerfallsreihe, radioaktive:	Gesamtheit der Radionuklide, die aus nacheinander erfolgenden Umwandlungen hervorgehen.

6.3 VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

Abb. 1.1-1: Topographische Karte mit markiertem Standort des ERAM, 5-km- und 10-km-Bereich.	20
Abb. 1.1-2: Topographische Karte mit schematischer Darstellung der innerhalb des 10-km- Bereiches um das ERAM gelegenen Bergbauobjekte (unter Tage), siehe auch Tab. 1.1-2 und Darstellung der im Kapitel 1.4.1 beschriebenen Untersuchungsgebiete.	21
Abb. 1.1-3: Topographische Karte mit markierten Standorten der Schachtanlage Bartensleben und der Schachtanlage Marie.....	22
Abb. 1.1-4: Katasterplan Schachtanlage Bartensleben.....	23
Abb. 1.1-5: Katasterplan Schachtanlage Marie.....	24
Abb. 1.1-6: Gebiete zum Schutz von Natur und Landschaft im Bereich des ERAM (genaue Bezeichnungen siehe Tab. 1.1-7).....	29
Abb. 1.1-7: Windrichtungsverteilung für die Schachtanlage Bartensleben (relative Häufigkeit der Windrichtung in % bezogen auf 30-Grad-Sektoren) für den Zeitraum Februar 1995 bis Dezember 2007.	36
Abb. 1.1-8: Niederschlagsverteilung für die Schachtanlage Bartensleben (relative Häufigkeit des Niederschlags in Abhängigkeit von der Windrichtung in % bezogen auf 30-Grad-Sektoren) für den Zeitraum Februar 1995 bis Dezember 2007.	37
Abb. 1.3-1: Strukturgeologische Übersichtskarte (Schnitt A-A' siehe Abb. 1.3-2). ...	62
Abb. 1.3-2: Schematischer geologischer Südsüdwest-Nordost-Schnitt (A-A') durch das Subherzynische Becken von der Harz-Scholle bis zur Scholle von Calvörde, Schnittlinie siehe Abb. 1.3-1.	63
Abb. 1.3-3: Tektonische Einheiten im Bereich des ERAM. Schnitt B-B' siehe Abb. 1.3-4, Schnitt C-C' siehe Abb. 1.3-5.....	66
Abb. 1.3-4: Schematischer geologischer West-Ost-Schnitt (B-B') durch das Allertal im Bereich des ERAM. Schnittlinie siehe Abb. 1.3-3.	68
Abb. 1.3-5: Schematischer Westsüdwest-Ostnordost-Schnitt (C-C') durch das Hutgestein im Bereich des ERAM. Schnittlinie siehe Abb. 1.3-3	69
Abb. 1.3-6: Langjährig regelmäßig überwachte Vorkommen wässriger Salzlösungen in den Grubengebäuden Bartensleben und Marie.....	74
Abb. 1.4-1: Schematisierte Lagerungsverhältnisse der hydrogeologischen Einheiten in einem über das ERAM von Südwest nach Nordost verlaufenden Gebietsstreifen.....	86
Abb. 1.4-2: Profile der Grundwasserdichte in je einer Bohrung auf der Lappwaldscholle und in der Allertalzone.	89
Abb. 1.4-3: Grundwassergleichenplan (Stand September 1996 mit Ergänzungen April 2008).	90
Abb. 1.5-1: Epizentren der Schadensbeben ($I_0 \geq VI-VII$ °MSK) für den Zeitraum 800 bis 2003 (Der Mittelpunkt des 210-km-Umkreises ist der Standort des ERAM.).	93

Abb. 2.1-1: Schachtanlage Bartensleben, übertägige Anlagen.....	98
Abb. 2.1-2: Schachtanlage Marie, übertägige Anlagen.....	99
Abb. 2.1-3: Grubengebäude Bartensleben und Marie, Ansicht etwa von Süd nach Nord.....	103
Abb. 2.1-4: Übersicht der Einlagerungsgrubenbaue.	114
Abb. 2.1-5: Lage der Einlagerungsgrubenbaue (rot) im Nordfeld.....	115
Abb. 2.1-6: Lage der Einlagerungsgrubenbaue (rot) im Zentralteil.	117
Abb. 2.1-7: Lage der Einlagerungsgrubenbaue (rot) im Westfeld.	119
Abb. 2.1-8: Lage der Einlagerungsgrubenbaue (rot) im Südfeld.	121
Abb. 2.1-9: Lage der Einlagerungsgrubenbaue (rot) im Ostfeld.....	122
Abb. 2.1-10: Lage der Einlagerungsgrubenbaue (rot) im Untertage-Messfeld.	123
Abb. 2.5-1: Schachtanlage Bartensleben, vorhandene und geplante übertägige Anlagen.	138
Abb. 2.6-1: Verfülltes und verschlossenes Grubengebäude Bartensleben und Marie (nicht maßstabsgerecht); Grubengebäude Marie – Darstellung der Verfüllkategorien.	148
Abb. 2.6-2: Verfülltes und verschlossenes Grubengebäude Bartensleben (nicht maßstabsgerecht); Grubengebäude Bartensleben – Darstellung der Verfüllkategorien.....	149
Abb. 2.6-3: Verfülltes und verschlossenes Grubengebäude Bartensleben; schematisierter Sohlenriss der 4. Sohle (-372 m-Sohle) mit Einlagerungsgrubenbauen der 4a-, 4. und 5a-Sohle.	150
Abb. 2.6-4: Verfülltes und verschlossenes Grubengebäude Bartensleben; schematisierter West-Ost-Schnitt (Schnittlinie D-D' siehe Abb. 2.6-3) entlang der Ostquerschläge mit Einlagerungsgrubenbauen im West- und Ostfeld.	151
Abb. 2.7-1: Qualitätsmanagementsystem.	152
Abb. 3.1-1: Gesamtansicht der Grube Bartensleben mit Darstellung des Kontrollbereichs.....	157
Abb. 3.1-2: Gesamtansicht des Kontrollbereichs vor der Stilllegungsmaßnahme..	158
Abb. 3.1-3: Ausgangsstoffe und Zusammensetzung des Salzbetons M2.	160
Abb. 3.1-4: Schematische Darstellung eines Abdichtungssegmentes.	161
Abb. 3.1-5: Schematische Darstellung einer Abdichtung, bestehend aus drei Segmenten.	161
Abb. 3.1-6: Ausgangsstoffe und Zusammensetzung des Magnesiabetons.....	162
Abb. 3.1-7: Schematische Darstellung des Abdichtungsbauwerks aus Magnesiabeton im Ostquerschlag auf der 4. Sohle.	163
Abb. 3.1-8: Prinzipskizze zum Aufbau des Verschlusssystems im südlichen Wetterrollloch.....	164
Abb. 3.1-9: Arten von zu verfüllenden Bohrungen im Bereich von Abdichtungen..	165
Abb. 3.1-10: Ausgangsstoffe und Zusammensetzung des Magnesiabinders.....	166

Abb. 3.1-11: Zu verfüllende Bohrungen im Grubengebäude.....	168
Abb. 3.1-12: Ausgangsstoffe und Zusammensetzung des Salzbetons M3.	169
Abb. 3.1-13: Verfüllen von Grubenbauen mit Salzbeton.	171
Abb. 3.1-14: Sicherheitsabstände zur Definition der Zutrittsgefährdung.	173
Abb. 3.1-15: Lage der temporären Abdichtungen (blaue Markierungen) auf der 4. Sohle des Grubengebäudes Bartensleben.....	175
Abb. 3.1-16: Schematische Darstellung der Verfüllung mit idealisierter Verfüllreihenfolge.....	176
Abb. 3.1-17: Ablaufplan mit den wesentlichen Stilllegungsmaßnahmen.....	177
Abb. 3.1-18: Ablaufplan zur Herstellung relevanter Abdichtungen im Kontrollbereich.....	178
Abb. 3.1-19: Nordstrecke und nordöstlicher Querschlag sowie Ostfeld verfüllt und abgeworfen (Kontrollbereichszustand im 2. Stilllegungsjahr).	179
Abb. 3.1-20: Westfeld verfüllt und abgeworfen (Kontrollbereichszustand im 3. Stilllegungsjahr).	179
Abb. 3.1-21: Zentralteil, Nordfeld und Südostfeld verfüllt und abgeworfen (Kontrollbereichszustand im 4. Stilllegungsjahr).	180
Abb. 3.1-22: Südfeld verfüllt und abgeworfen (Kontrollbereichszustand im 4. Stilllegungsjahr).	180
Abb. 3.1-23: Verfüllstatus der Grube Bartensleben nach dem Abwerfen der Grubenbaue des Kontrollbereichs.	181
Abb. 3.1-24: Schachtverschlussystem (Prinzipskizze).	183
Abb. 3.2-1: Schematische Darstellung des Ablaufes des Versatzmaterialtransportes.....	185
Abb. 4.1-1: Windrichtungsverteilung für die Schachtanlage Bartensleben (relative Häufigkeit der Windrichtung in % bezogen auf 10-Grad-Sektoren) für den Zeitraum Februar 1995 bis Dezember 2000.	201
Abb. 4.1-2: Windrichtungsverteilung für die Schachtanlage Marie (relative Häufigkeit der Windrichtung in % bezogen auf 10-Grad-Sektoren) für den Zeitraum Februar 1995 bis Dezember 2000.	201
Abb. 5.4-1: Transportpfade durch das Hutgestein und das Deckgebirge (schematische Darstellung, abgeleitet aus Modellrechnungen).....	264
Abb. 5.4-2: Schematische Darstellung des Endlagersystems für die Ausbreitung über den Wasserpfad.	267
Abb. 5.4-3: Strukturmodell der EMOS-Modellrechnungen.	271
Abb. 5.4-4: Strukturmodell der PROSA-Modellrechnungen.	272
Abb. 5.4-5: Zeitliche Entwicklung der Gasdrücke in den Einlagerungsbereichen und der Restgrube ohne Lösungszutritt.....	276
Abb. 5.4-6: Strahlenexposition infolge Radionuklidausbreitung über den Wasserpfad (EMOS).	278
Abb. 5.4-7: Strahlenexposition infolge Radionuklidausbreitung über den Wasserpfad (PROSA) (CH4-14 steht für $^{14}\text{CH}_4$).	278

Abb. 5.4-8: Überschreitenswahrscheinlichkeit der maximalen Strahlenexposition. 281
Abb. 5.4-9: Zeitliche Entwicklung des Aktivitätsinventars in den Abfällen..... 286
Abb. 5.4-10: Relative integrierte Freisetzung. 287

ERA
Morsleben

6.4 VERZEICHNIS DER TABELLEN

Tab. 1.1-1: Einordnung des 10-km- Bereiches um das ERAM in Raumordnung und Landesplanung.	16
Tab. 1.1-2: Bergbauobjekte (unter Tage) innerhalb des 10-km- Bereiches um das ERAM (siehe auch Abb. 1.1-2).	18
Tab. 1.1-3: Liegenschaftsrechtliche Zuordnung der Flurstücke im Bundeseigentum im Bereich der Schachtanlagen Bartensleben und Marie.	24
Tab. 1.1-4: Großstädte im 50-km-Bereich um das ERAM (Stand: 31.12.2007).	25
Tab. 1.1-5: Verwaltungsgliederung und Bevölkerung im 10-km-Bereich um das ERAM (Stand: 31.12.2007).	26
Tab. 1.1-6: Flächennutzung im 10-km-Bereich um das ERAM (Stand: 31.12.2007).	28
Tab. 1.1-7: Naturpark (NuP), Natur- und Landschaftsschutzgebiete (NSG, LSG) sowie FFH-Gebiete (FFH: Fauna-Flora-Habitat) im Bereich des ERAM in Niedersachsen und Sachsen-Anhalt.	30
Tab. 1.1-8: Mittlere Lufttemperatur an der meteorologischen Station des ERAM für die Jahre 1995 bis 2007.	35
Tab. 1.2-1: Grundbelastung am Standort des ERAM und seiner näheren Umgebung (Werte der Jahre 1999 bis 2006).	40
Tab. 1.2-2: Ableitungen aus dem ERAM mit Abluft und Abwasser in den Jahren 2001 bis 2006 (Jahressummenwerte).	44
Tab. 1.2-3: Messwerte der Umgebungsüberwachung am Standort des ERAM (Werte der Jahre 1999 bis 2006).	46
Tab. 1.2-4: Spezifische Aktivitäten natürlicher Radionuklide in Bodenproben aus dem Bereich des ERAM und Vergleichsproben aus Sachsen-Anhalt.	47
Tab. 1.3-1: Im Bereich des ERAM vorkommende stratigraphische Einheiten. Zeitangaben nach der Stratigraphischen Tabelle von Deutschland 2002 (STD 2002, Mitteleuropa) der Deutsche Stratigraphischen Kommission.	52
Tab. 1.3-2: Großfalten im Bereich der Grubengebäude Bartensleben und Marie.	67
Tab. 1.4-1: Hydrostratigraphische Gliederung der Lappwald-Scholle (L).	78
Tab. 1.4-2: Hydrostratigraphische Gliederung der Allertalzone (A).	82
Tab. 1.4-3: Hydrostratigraphische Gliederung der Weferlinger Triasplatte (T).	84
Tab. 2.1-1: Gliederung der Sohlen in den Grubengebäuden Bartensleben und Marie.	100
Tab. 2.1-2: Einlagerungsgrubenbaue für radioaktive Abfälle im ERAM.	109
Tab. 2.1-3: Radionuklidinventar der relevanten Radionuklide in den einzelnen Einlagerungsgrubenbauen des ERAM; Aktivität in Bq, bezogen auf den 30.06.2005, Blatt 1.	125

Tab. 2.1-4:	Stoffliche Zusammensetzung der radioaktiven Abfälle in den einzelnen Einlagerungsgrubenbauen; Mengenangaben in t.....	127
Tab. 2.6-1:	Übersicht über Hohlraum- und Versatzvolumina (ohne Schächte).....	145
Tab. 2.6-2:	Abdichtungen (Segmentanzahl, Länge)	146
Tab. 3.4-1:	Sonstige betriebliche Abfälle im Grubengebäude Bartensleben.....	190
Tab. 4.1-1:	Orte der ungünstigsten Einwirkungsstellen für Schacht Bartensleben und Schacht Marie mit den Werten für die Ausbreitungs-, Fallout- und Washout-Faktoren. Dabei ist CHI der entfernungsabhängige Langzeit-Ausbreitungsfaktor, F der Langzeit-Falloutfaktor, W der Langzeit-Washoutfaktor und CHI_{Gamma} der Langzeit-Ausbreitungsfaktor für die Gamma-Submersion.	203
Tab. 4.1-2:	Zulässige Ableitung flüchtiger radioaktiver Stoffe mit den Abwettern über Schacht Bartensleben und resultierende potenzielle Strahlenexposition in der Umgebung während des Stilllegungsbetriebs.	204
Tab. 4.1-3:	Zulässige Ableitung flüchtiger radioaktiver Stoffe mit den Abwettern über Schacht Marie und resultierende potenzielle Strahlenexposition in der Umgebung während des Stilllegungsbetriebs.....	204
Tab. 4.2-1:	Berechnete maximale Immissionswerte für Luftschadstoffe und Staub aus den betrieblichen Emissionen der Schachtanlage Bartensleben (nur kerntechnische Anlage) im Vergleich zu den Immissionswerten nach TA Luft.	210
Tab. 4.2-2:	Berechnete maximale Immissionswerte für Luftschadstoffe und Staub aus den betrieblichen Emissionen des Abluftkamins der Schachtanlage Marie im Vergleich zu den Immissionswerten nach TA Luft.	210
Tab. 5.2-1:	Maximalwerte der inneren Strahlenexposition des Personals.	219
Tab. 5.3-1:	Charakteristische Daten für die Beurteilung der Kritikalitätssicherheit. Fehler! Textm	
Tab. 5.4-1:	Übersicht über ausgewählte Modellparameter (Referenzwerte).....	273
Tab. 5.4-2:	Vergleich von Schadstoffkonzentrationen.	291

6.5 MAßE UND EINHEITEN

Vielfache und Teile von Einheiten

Präfix	Kurzbezeichnung	Faktor	Präfix	Kurzbezeichnung	Faktor
Exa	E	10^{18}	Dezi	d	10^{-1}
Peta	P	10^{15}	Zenti	c	10^{-2}
Tera	T	10^{12}	Milli	m	10^{-3}
Giga	G	10^9	Mikro	μ	10^{-6}
Mega	M	10^6	Nano	n	10^{-9}
Kilo	k	10^3	Pico	p	10^{-12}
Hekto	h	10^2	Femto	f	10^{-15}
Deka	da	10^1	Ato	a	10^{-18}

Zeit	a (Jahr)	d (Tag)	h (Stunde)	min (Minute)	s (Sekunde)
1 Jahr (a)	1	365	8.760	525.600	31.536.000
1 Tag (d)		1	24	1.440	86.400
1 Stunde (h)			1	60	3.600
1 Minute (min)				1	60
1 Sekunde (s)					1

Längen	km (Kilometer)	m (Meter)	cm (Zentimeter)	mm (Millimeter)
1 Kilometer (km)	1	1.000	100.000	1.000.000
1 Meter (m)		1	100	1.000
1 Zentimeter (cm)			1	10
1 Millimeter (mm)				1

Flächen	km ² (Quadratkilometer)	ha (Hektar)	m ² (Quadratmeter)
1 Quadratkilometer (km ²)	1	100	1.000.000
1 Hektar (ha)		1	10.000
1 Quadratmeter (m ²)			1

Leistung	MW (Megawatt)	kW (Kilowatt)	W (Watt)
1 Megawatt (MW)	1	1.000	1.000.000
1 Kilowatt (kW)		1	1.000
1 Watt (W)			1

Druck	MPa (Megapascal)	kPa (Kilopascal)	Pa (Pascal)
1 Megapascal (MPa)	1	1.000	1.000.000
1 Kilopascal (kPa)		1	1.000
1 Pascal (Pa)			1

Masse		t (Tonne)	kg (Kilogramm)	g (Gramm)	mg (Milligramm)	µg (Mikrogramm)
		↑	↑	↑	↑	↑
1 Tonne (t)	→	1	1.000	1.000.000	1.000.000.000	1.000.000.000.000
1 Kilogramm (kg)	→		1	1.000	1.000.000	1.000.000.000
1 Gramm (g)	→			1	1.000	1.000.000
1 Milligramm (mg)	→				1	1.000
1 Mikrogramm (µg)	→					1

Volumen		km ³ (Kubikkilometer)	m ³ (Kubikmeter)	hl Hektoliter	l (Liter)
		↑	↑	↑	↑
1 Kubikkilometer (km ³)	→	1	1.000.000.000	10.000.000.000	1.000.000.000.000
1 Kubikmeter (m ³)	→		1	10	1.000
1 Hektoliter (hl)	→			1	100
1 Liter (l)	→				1

elektrische Spannung		MV (Megavolt)	kV (Kilovolt)	V (Volt)
		↑	↑	↑
1 Megavolt (MV)	→	1	1.000	1.000.000
1 Kilovolt (kV)	→		1	1.000
1 Volt (V)	→			1

Aktivität 1 Bq = 1 Zerfall-s-1		MBq (Mega- becquerel)	kBq (Kilo- becquerel)	Bq (Becquerel)	mBq (Milli- becquerel)
		↑	↑	↑	↑
1 Megabecquerel (MBq)	→	1	1.000	1.000.000	1.000.000.000
1 Kilobecquerel (kBq)	→		1	1.000	1.000.000
1 Becquerel (Bq)	→			1	1.000
1 Millibecquerel (mBq)	→				1

alte Einheit:	
Curie (Ci)	
1 Ci	= 3,7 · 10 ¹⁰ Bq
1 Bq	= 2,7 · 10 ⁻¹¹ Ci

Energiedosis 1 Gy = 1 J·kg ⁻¹		MGy (Megagray)	kGy (Kilogray)	Gy (Gray)
		↑	↑	↑
1 Megagray (MGy)	→	1	1.000	1.000.000
1 Kilogray (kGy)	→		1	1.000
1 Gray (Gy)	→			1

alte Einheit:	
Rad (rd)	
1 rd	= 0,01 Gy
1 Gy	= 100 rd

Äquivalentdosis 1 Sv = 1 J·kg ⁻¹		Sv (Sievert)	mSv (Millisievert)	µSv (Mikrosievert)
		↑	↑	↑
1 Sievert (Sv)	→	1	1.000	1.000.000
1 Millisievert (mSv)	→		1	1.000
1 Mikrosievert (µSv)	→			1