



## **Stilllegung des ERA Morsleben**

### **8. Zwischenbericht zur Prüfung des Sicherheitskonzepts (geotechnische Aspekte)**

#### **Prüfung des Verfüllkonzepts: Verfüllplan zur Stilllegung des ERAM nach Durchführung der bGZ [P 220]**

BS-Projekt-Nr. 0108-03

erstellt im Auftrag des

Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt  
des Landes Sachsen-Anhalt  
Leipziger Straße 58  
39112 Magdeburg

durch die

Brenk Systemplanung GmbH  
Heider-Hof-Weg 23  
52080 Aachen

Aachen, 14.10.2013

#### **Anmerkung:**

Dieser Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers (BS) wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers (MLU) übereinstimmen.



## AUTOREN

Dieser Bericht wurde von folgenden Bearbeitern erstellt:

- Dipl.-Phys. S. Kistingner
- Dipl.-Geol. R. H. Stollenwerk

Es wird versichert, dass dieser Bericht nach bestem Wissen und Gewissen, unparteiisch und ohne Ergebnisweisung angefertigt worden ist.

Unterschrift Projektleiter	Unterschrift Geschäftsleitung
----------------------------	-------------------------------

## ZUSAMMENFASSUNG

Das Verfüllkonzept des BfS und der darauf aufbauende Verfüllplan [P 220] beinhalten

- die Festlegung von Salzbeton als generelles Verfüllmaterial,
- die Festlegung der Verfüllgrade der verschiedenen Feldesteile und einzelner Grubenbaue und
- eine Festlegung der Vorgehensweise bei der Verfüllung.

Sie basieren auf dem vom BfS gewählten Stilllegungskonzept. Die Zustimmung zum Verfüllplan impliziert die Zustimmung zu diesem Stilllegungskonzept und damit zum Ausschluss alternativer Stilllegungskonzepte und Stilllegungsmaßnahmen. Eine verbindliche Prüfung des Verfüllplans kann deshalb erst dann erfolgen, wenn das Stilllegungskonzept des BfS geprüft und als geeignet bewertet wurde. Entsprechend [SSK 10] soll die Stilllegung des ERAM und damit auch das Stilllegungskonzept das Ergebnis eines Optimierungsprozesses sein, um die künftigen potentiellen Strahlenexpositionen auch unterhalb der Referenzwerte zu vermeiden bzw. zu minimieren. Gegenstand dieses Gutachtens ist deshalb zunächst die Prüfung des Stilllegungskonzepts des BfS für das ERAM im Hinblick auf seine Optimierung (Kapitel 3).

Eine weitere Voraussetzung für die verbindliche Prüfung des Verfüllplans ist das Vorliegen der erforderlichen Nachweise der Standsicherheit und Integrität sowie der Langzeitsicherheit bei Umsetzung des Verfüllplans. Diese Nachweise befinden sich gegenwärtig in der Überarbeitung und liegen in der abschließenden Form noch nicht vor. Die Prüfung des Verfüllplans [P 220] kann deshalb nur vorläufig erfolgen.

Nur wenn das dem Verfüllplan zugrunde liegende Stilllegungskonzept optimiert ist und die Sicherheitsnachweise erbracht sind, kann eine verbindliche Prüfung des Verfüllplans erfolgen. Bei dieser Prüfung sind die folgenden Fragen zu klären:

- Stimmen die Angaben im Verfüllplan mit den Modellannahmen in den vorgelegten Sicherheitsnachweisen (zur Standsicherheit und Integrität sowie zur Langzeitsicherheit) überein?
- Sind die Angaben im Verfüllplan konsistent, plausibel und nachvollziehbar?

In den Kapiteln 4 und 5 wird der Verfüllplan im Hinblick auf diese Fragen geprüft, wobei hilfsweise die gegenwärtig vorliegenden (aber in der Überarbeitung befindlichen) Sicherheitsnachweise zugrunde gelegt werden.

Mit Schreiben vom 18.07.2013 (Posteingang MLU: 10.09.2013) hat das BfS den Verfüllplan [P 220] zurückgezogen und seine Überarbeitung angekündigt. Da das BfS eine gutachterliche Aussage zum Verfüllplan wünscht und die Prüfungen zu diesem Zeitpunkt schon weitgehend abgeschlossen waren, wurde das vorliegende Gutachten trotz des Rückzugs der Unterlage [P 220] abgeschlossen. Die in ihm enthaltenen Empfehlungen können als Hinweise für die Überarbeitung des Langzeitsicherheitsnachweises und des Verfüllplans dienen.

In Kapitel 3 kommen wir zu dem Ergebnis, dass das grundsätzliche Stilllegungskonzept (trockene Verwahrung mit stützender Verfüllung) sachgerecht ist, aber in den Planunterlagen seine weitere Optimierung nicht dargelegt wird und empfehlen entsprechende Ergänzungen. Dies betrifft neben einer ausführlicheren Begründung des Stilllegungskonzepts (E 1, E 5) auch die Verfüllumfänge in



der Grube (E 2, E 8), die Auswahl von Salzbeton als Verfüllmaterial (E 7) sowie konkrete Einzelfragen wie z. B. die Verwahrung der Unterwerksgrubenbaue im Südfeld und des Nordfelds (E 6 mit H 1). Zwei Empfehlungen haben die detaillierte Darstellung der gegenwärtigen Verhältnisse im Südfeld zum Inhalt (E 3, E 4).

In Kapitel 4 kommen wir zu dem Ergebnis, dass die Angaben im Verfüllplan mit den Annahmen in den gegenwärtig vorliegenden Sicherheitsnachweisen weitgehend übereinstimmen. Auf einzelne Abweichungen weisen wir hin und empfehlen ihre Beseitigung bei der angekündigten Überarbeitung der Unterlagen (E 9, E 10).

In Kapitel 5 geben wir Hinweise zur Erhöhung der Konsistenz, Transparenz und Nachvollziehbarkeit des Verfüllplans (E 11, E 12, E 13, E 14).

## INHALTSVERZEICHNIS

Seite:

### ZUSAMMENFASSUNG

<b>1. EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>2. AUFGABENSTELLUNG UND BERICHTSAUFBAU.....</b>	<b>3</b>
<b>3. VERFÜLLKONZEPT.....</b>	<b>6</b>
<b>3.1. Angaben in den Planunterlagen .....</b>	<b>6</b>
<b>3.1.1. Plan Stilllegung [A 281] .....</b>	<b>6</b>
3.1.1.1. Stilllegungskonzept .....	6
3.1.1.2. Verfüllmaterial .....	7
3.1.1.3. Verfüllumfänge .....	7
3.1.1.4. Durchführung der Verfüllung .....	8
<b>3.1.2. Systembeschreibung der Verfüllung [G 217].....</b>	<b>8</b>
3.1.2.1. Auslegungsanforderungen.....	8
3.1.2.2. Verfüllmaterial.....	9
3.1.2.3. Verfüllumfänge .....	10
3.1.2.4. Durchführung der Verfüllung .....	10
<b>3.1.3. Verfüllplan [P 220] .....</b>	<b>10</b>
3.1.3.1. Stilllegungskonzept .....	10
3.1.3.2. Verfüllmaterial.....	12
3.1.3.3. Verfüllumfänge .....	12
3.1.3.4. Durchführung der Verfüllung .....	16
<b>3.1.4. Angaben in sonstigen Unterlagen.....</b>	<b>16</b>
<b>3.2. Bewertung.....</b>	<b>17</b>
<b>3.2.1. Anforderungen an die Stilllegung .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2.2. Stilllegungskonzept.....</b>	<b>17</b>
3.2.2.1. Verfüllung der Grubenbaue mit stützendem Versatz.....	17
3.2.2.2. Abdichtung der Tagesschächte .....	21
3.2.2.3. Zusätzliche Schutzmaßnahmen – Möglichkeiten .....	21
3.2.2.3.1. Behinderung des Lösungszutritts .....	22
3.2.2.3.2. Reduzierung der Mobilisierung der Schadstoffe aus den Abfällen .....	27
3.2.2.3.3. Chemisch bedingte Rückhaltung von Schadstoffen .....	33
3.2.2.3.4. Rückhaltung/Speicherung kontaminierter Lösung in der Grube .....	35
3.2.2.3.5. Behinderung des Lösungsabflusses .....	37
3.2.2.4. Optimierung des Verfüllkonzepts.....	38
<b>3.2.3. Verfüllmaterialien .....</b>	<b>39</b>
3.2.3.1. Materialien – Anforderungen und Eigenschaften.....	39
3.2.3.2. Bewertung der Materialauswahl des BfS.....	45

3.2.4. Verfüllumfänge.....	47
3.2.5. Durchführung der Verfüllung.....	51
<b>4. KONSISTENZ DES VEFÜLLPLANS MIT DEN SICHERHEITSNACHWEISEN .....</b>	<b>52</b>
4.1. Konsistenz mit den Nachweisen der Standsicherheit und Integrität.....	52
4.1.1. Standsicherheits- und Integritätsnachweis für das Südfeld [P 215] .....	52
4.1.2. Standsicherheits- und Integritätsnachweis für den Zentralteil [P 243].....	53
4.1.3. Standsicherheits- und Integritätsnachweis für das Nordfeld [P 234].....	55
4.2. Konsistenz mit den Langzeitsicherheitsnachweisen .....	55
4.2.1. Angaben in [P 220] zu den Anforderungen aus den LSA an den Verfüllgrad .....	55
4.2.2. Angaben zu dem in der LSA [P 277] angesetzten Verfüllgrad.....	56
4.2.3. Angaben zu dem in der LSA [P 278] angesetzten Verfüllgrad.....	57
4.2.4. Bewertung .....	59
<b>5. PLAUSIBILITÄT, KONSISTENZ UND NACHVOLLZIEHBARKEIT DES VERFÜLLPLANS</b> <b>[P 220].....</b>	<b>62</b>
5.1. Konsistenz und Nachvollziehbarkeit.....	62
5.2. Plausibilität der Hohlraum- und Verfüllbilanzen.....	66
5.2.1. Steinsalzabbau Grubenfeld Bartensleben .....	66
5.2.2. Kalilagerteile der Grubenfelder Bartensleben und Marie .....	68
5.2.3. Gesamtbilanzierung für die Grubenfelder Bartensleben und Marie .....	69
5.2.4. Hohlraum- und Verfüllbilanz für die Langzeitsicherheitsanalyse.....	71
5.2.5. Zusammenfassende Bewertung.....	72
5.3. Plausibilität der Angaben zur Verfüllung der -372 mNN-Sohle Grube Marie.....	73
5.4. Nachvollziehbarkeit der Verfüllung der einzelnen Grubenbaue .....	73
<b>6. LITERATUR.....</b>	<b>76</b>

## **1. Einleitung**

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hat beim zuständigen Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt (MLU) die Durchführung eines Planfeststellungsverfahrens nach § 9 b Atomgesetz (AtG) zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) beantragt. Ferner hat das BfS die Möglichkeit, Anträge zur Änderung der Dauerbetriebsgenehmigung zum ERAM (DBG) zu stellen.

Zur Planfeststellung des Stilllegungsbetriebes bzw. zur Änderung der DBG legt der Antragsteller Unterlagen vor, die den Gegenstand der Planfeststellung bzw. Plangenehmigung beschreiben und die Voraussetzungen für die Planfeststellung bzw. für die Plangenehmigung nachweisen sollen.

Zur Prüfung der Genehmigungsfähigkeit der in den o. g. Unterlagen beschriebenen Vorgehensweisen hat das MLU am 18.04.2002 mit dem Unternehmen Brenk Systemplanung GmbH (BS) einen

*Vertrag über Sachverständigentätigkeit nach § 20 AtG im Rahmen des beantragten Planfeststellungsverfahrens zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) sowie im Rahmen von atomrechtlichen Änderungsverfahren hinsichtlich der Dauerbetriebsgenehmigung für das ERAM (DGB)*

geschlossen. Dieser Vertrag dient der Rahmenregelung zwischen dem MLU und BS zur Erbringung von Sachverständigenleistungen. Einzelheiten der zu erbringenden Leistungen werden in separaten Werkverträgen geregelt.

Der Stilllegung des ERAM liegt ein Sicherheitskonzept zugrunde, das im Plan zur Stilllegung des ERAM [A 281] in Verbindung mit weiteren Verfahrensunterlagen dargelegt wird. Die Prüfung der geotechnischen Teile des Sicherheitskonzepts beinhaltet die Aspekte

- Standsicherheit und stabiler Endzustand,
- Beherrschung von Lösungszutritten,
- Standsicherheit der Schächte bei Erdbeben,
- Anforderungen aus der Langzeitsicherheitsanalyse (LSA) und
- Verfüllkonzept.

Das MLU beauftragte BS und die TU Clausthal (TUC) als deren Unterauftragnehmer mit der Prüfung der geotechnischen Teile dieses Sicherheitskonzepts auf Plausibilität und Vollständigkeit.

Zu dem Aspekt „Standsicherheit und stabiler Endzustand“ wurden die folgenden Berichte vorgelegt:

- 1. Zwischenbericht: Kurzstellungnahme „Standsicherheit und stabiler Endzustand - Lager H“; TU Clausthal (TUC), 04.09.2009
- 2. Zwischenbericht: Darstellung des geotechnischen Teils des Sicherheitsnachweiskonzepts des BfS, seiner rechtlichen Bewertung und einer Zusammenstellung von Prüffragen für seine Prüfung auf Plausibilität und Vollständigkeit; BS, 11.10.2010
- 3. Zwischenbericht: Bewertung der Unterlage [P 218]; BS/TUC, 05.05.2011



- 4. Zwischenbericht: Bewertung der Unterlage [G 216]; BS/TUC, 20.06.2011
- 5. Zwischenbericht: Bewertung der Unterlage [P 212]; BS/TUC, 26.09.2011
- 6. Zwischenbericht: Konsistenz- und Plausibilitätsprüfung von Einzelunterlagen zum Standsicherheits- und Integritätsnachweis des ERA Morsleben – Unterlagen [P 214]/[P 215]/[P 224]/[P 234]/[P 243]/[P 245]/[P 267]; TUC, 04.05.2012

Zu dem Aspekt „Beherrschung von Lösungszutritten“ wurde der

- 7. Zwischenbericht: Plausibilität und Vollständigkeitsprüfung in Bezug auf die Beherrschung von Lösungszutritten für den Zeitraum der Stilllegung; BS, 21.08.2012

vorgelegt. Zur Standsicherheit der Schächte bei Erdbeben nahmen wir in unserem diesbezüglichen Schreiben vom 27.06.2013 Stellung.

Gegenstand des vorliegenden 8. Zwischenberichts ist die Prüfung des vom BfS vorgesehenen Verfüllkonzepts und insbesondere des Verfüllplans [P 220].



## **2. AUFGABENSTELLUNG UND BERICHTSAUFBAU**

Das Verfüllkonzept<sup>1</sup> des BfS wird im Plan [A 281] sowie in den Unterlagen [G 217] (Systembeschreibung der Verfüllung) und [P 220] (Verfüllplan - Konzeptplanung) dargestellt. Es beinhaltet

- die Festlegung von Salzbeton als generelles Verfüllmaterial<sup>2</sup>,
- die Festlegung der Verfüllgrade der verschiedenen Feldesteile und einzelner Grubenbaue und
- eine Festlegung der Vorgehensweise bei der Verfüllung.

Das Verfüllkonzept und damit der Verfüllplan [P 220] basieren auf einem bestimmten, vom BfS ausgewählten Stilllegungskonzept. Die Zustimmung zum Verfüllplan impliziert die Zustimmung zu diesem Stilllegungskonzept und damit zum Ausschluss alternativer Stilllegungskonzepte und Stilllegungsmaßnahmen. Eine verbindliche Prüfung des Verfüllplans kann deshalb erst dann erfolgen, wenn das Stilllegungskonzept des BfS geprüft und als geeignet bewertet wurde. Entsprechend [SSK 10] soll die Stilllegung des ERAM und damit auch das Stilllegungskonzept das Ergebnis eines Optimierungsprozesses sein, um die künftigen potentiellen Strahlenexpositionen auch unterhalb der von der SSK empfohlenen Referenzwerte im Sinne des § 6 StrlSchV zu vermeiden bzw. zu minimieren. Gegenstand dieses Gutachtens ist deshalb zunächst die Prüfung des Stilllegungskonzepts des BfS für das ERAM im Hinblick auf seine Optimierung.

Eine weitere Voraussetzung für die verbindliche Prüfung des Verfüllplans ist das Vorliegen der erforderlichen Sicherheitsnachweise und die Feststellung, dass bei Realisierung des Verfüllplans die Sicherheit gegeben ist und die Sicherheitsnachweise den bestehenden Anforderungen genügen. Dies betrifft i. W. den Nachweis der Standsicherheit und Integrität, der die Nachweise zum Schutz der Bevölkerung und des öffentlichen Verkehrs vor Senkungen (OF), zum Schutz der geologischen Barriere (BI) und zur Sicherheit des Betriebs (B) umfasst, und die Nachweise zur Langzeitsicherheit im Hinblick auf den Strahlenschutz (D) und zum Schutz des Grundwassers (W)<sup>3</sup>. Diese Nachweise befinden sich gegenwärtig in der Überarbeitung und liegen in der abschließenden Form noch nicht vor. Die Prüfung des Verfüllplans [P 220] kann gegenwärtig deshalb nur vorläufig erfolgen.

Unter den Voraussetzungen, dass das dem Verfüllplan zugrunde liegende Stilllegungskonzept optimiert ist und die Sicherheitsnachweise erbracht sind, kann eine verbindliche Prüfung des Verfüllplans erfolgen. Bei dieser Prüfung sind die folgenden Fragen zu klären:

- Stimmen die Angaben im Verfüllplan mit den Modellannahmen in den vorgelegten Sicherheitsnachweisen (zur Standsicherheit und Integrität sowie zur Langzeitsicherheit) überein?
- Sind die Angaben im Verfüllplan konsistent, plausibel und nachvollziehbar?

---

<sup>1</sup> Das BfS versteht unter dem Begriff „Verfüllkonzept“ ein technologisches Konzept zum Einbringen des Salzbetons in die Grubenbaue (siehe [P 220] Kapitel 9). Wir erweitern den Begriff auch auf die Festlegung des Verfüllmaterials und die Vorgehensweise bei der Festlegung der Verfüllgrade und der Verfüllreihenfolge.

<sup>2</sup> Ausnahmen hiervon sind die Streckenabdichtung zum Ostfeld auf der 4. Sohle (Magnesiabeton), das neu aufzufahrende Großbohrloch zwischen dem Westfeld und dem Südfeld (Schotter), das „südliche Wetterrolloch“ an der Grenze zwischen Südfeld und Südostfeld (u. a. Schotter/Asphalt-Mischung) und die Tagesschächte (u. a. Schotter/Asphalt-Mischung und Bentonit).

<sup>3</sup> Die Kürzel hinter den Schutzzielen geben die entsprechenden Kategorien in [BS 12] an.

Die Frage nach der Konsistenz schließt die Frage mit ein, ob die technische Planung mit den konzeptionellen Grundsätzen übereinstimmt (z. B. dem Grundsatz, die Verfüllung „von unten nach oben und von außen zu den Schächten hin“ durchzuführen). Die Frage nach der Plausibilität schließt die Frage mit ein, ob Zweifel bestehen, dass die planerischen Anforderungen (z. B. die Verfüllgrade) auch in der bergbaulichen Praxis umsetzbar sind.

Auf die Frage nach Konsistenz, Plausibilität und Nachvollziehbarkeit des Verfüllplans [P 220] gingen wir bereits im Rahmen der Prüfungen zur Vollständigkeit des Plan Stilllegung ein ([BS 09] Abschnitt 6.6.2.2). Im vorliegenden Bericht werden diese Prüfungen vertieft.

Mit Schreiben vom 18.07.2013 (Posteingang MLU: 10.09.2013) hat das BfS den Verfüllplan [P 220] zurückgezogen und seine Überarbeitung angekündigt. Da das BfS eine gutachterliche Aussage zum Verfüllplan wünscht und die Prüfungen zu diesem Zeitpunkt schon weitgehend abgeschlossen waren, wurde das vorliegende Gutachten trotz des Rückzugs der Unterlage [P 220] abgeschlossen. Die in ihm enthaltenen Empfehlungen können als Hinweise für die Überarbeitung des Verfüllplans dienen. Die bei Rückzug des Verfüllplans noch nicht geprüfte Frage der technischen Umsetzbarkeit wurde jedoch zurückgestellt.

Die durchgeführten Arbeiten sind im vorliegenden Bericht wie folgt dokumentiert:

Kapitel 3.1 enthält eine Zusammenstellung der im Plan Stilllegung und in den Planunterlagen enthaltenen Angaben zur Verfüllung der ERAM. In Kapitel 3.2 erfolgt die Bewertung des Verfüllkonzepts. Hierzu erfolgt zunächst eine Bewertung des Stilllegungskonzepts des BfS, ausgehend von den Anforderungen an die Stilllegung. Um zu prüfen, ob das Stilllegungskonzept dem Optimierungsgebot der SSK entspricht, werden mögliche Stilllegungsmaßnahmen abgeleitet und diskutiert. Es wird analysiert, in wie weit zusätzliche bzw. abweichende Stilllegungsmaßnahmen ausgeschlossen werden können. Anschließend erfolgt eine generelle Bewertung des vom BfS vorgesehenen Verfüllmaterials Salzbeton<sup>4</sup> und der im Verfüllkonzept vorgesehenen Verfüllgrade. Weiterhin machen wir Anmerkungen zur Durchführung der Verfüllung. Das Kapitel 3 endet mit einer zusammenfassenden Bewertung des Stilllegungskonzepts und einer Zusammenstellung der offenen Punkte im Hinblick auf seine Begründung.

In Kapitel 4 erfolgt eine Konsistenzprüfung des Verfüllplans mit den vorliegenden Sicherheitsnachweisen des BfS (die allerdings gegenwärtig überarbeitet werden). Zum Nachweis der Standicherheit und Integrität wurden vom BfS für drei Grubenfelder (Südfeld, Nordfeld, Zentralteil) geomechanische Modellrechnungen durchgeführt. In Kapitel 4.1 wird geprüft, ob die in diesen Modellrechnungen getroffenen Annahmen zum Verfüllgrad der Grubenbaue mit den Angaben in [P 220] übereinstimmen. Die vom BfS vorgelegten Nachweise zur Langzeitsicherheit im Hinblick auf den Strahlenschutz (D) und zum Schutz des Grundwassers (W) basieren auf durch Modellrechnungen gestützten Langzeitsicherheitsanalysen, in denen ebenfalls Annahmen zum Verfüllgrad getroffen werden. In Kapitel 4.2 wird geprüft, ob die in diesen Modellrechnungen getroffenen Annahmen zum Verfüllgrad der Grubenbaue mit den Angaben in [P 220] übereinstimmen.

---

<sup>4</sup> Eine detaillierte Zusammenstellung der Anforderungen an den Salzbeton und seiner Eigenschaften wird Gegenstand des 9. Zwischenberichts zu diesem Prüfkomplex sein.



In Kapitel 5 werden die in der Unterlage [P 220] enthaltenen Angaben zu den Verfüllvolumina auf Konsistenz, Nachvollziehbarkeit und Plausibilität geprüft (Kapitel 5.1 und 5.2). Zudem werden Hinweise gegeben, die sich im Rahmen der Plausibilitätsprüfungen von [P 220] zu sonstigen Aspekten ergeben haben (Kapitel 5.3 und 5.4).

Kapitel 6 enthält eine zusammenfassende Darstellung der Bewertungsergebnisse und es werden Empfehlungen für das weitere Vorgehen gegeben, Kapitel 7 enthält das Literaturverzeichnis.

### 3. VERFÜLLKONZEPT<sup>5</sup>

#### 3.1. Angaben in den Planunterlagen

##### 3.1.1. Plan Stilllegung [A 281]

###### 3.1.1.1. Stilllegungskonzept

Entsprechend Kapitel 2.3 des Plan Stilllegung [A 281] sieht das Stilllegungskonzept für das ERAM

- die weitgehende Verfüllung der Grubenbaue mit stützendem Versatz,
- die Errichtung technischer Barrieren für die Abdichtung der Einlagerungsbereiche West-Südfeld und Ostfeld,
- die Abdichtung von untertägige Bohrungen, die zu Umläufigkeiten der technischen Barrieren führen können, und
- die Errichtung eines Großbohrlochs, das mit Schotter verfüllt wird, zwischen dem Westfeld (3. Sohle) und einem Abbau auf der 1. Sohle des Südfelds als Fließweg für nach Abschluss der Stilllegung entstehende Gase

vor.

Weiterhin sieht das Stilllegungskonzept

- die Verfüllung und Abdichtung der Schächte Bartensleben und Marie mit (u. a.) einem Schotter-Bitumen-Gemisch und einem Element aus Bentonit (Industrieprodukt „Calcigel“) sowie
- die Verfüllung eines bestehenden Wetterrollochsysteams mit (u. A.) einem Schotter-Bitumen-Gemisch als Teil der hydraulischen Trennung von Südfeld und Restgrube

vor. Auf die letztgenannten Verfüllmaßnahmen gehen wir im Folgenden nicht weiter ein, da sie nicht Gegenstand des Verfüllplans sind und im Rahmen anderer Prüfkomplexe (PK 6 und PK 7) geprüft werden.

Die Abdichtung von Nordfeld, Zentralteil und UMF ist entsprechend dem Plan Stilllegung wegen des hohen Durchbauungsgrades und Gebirgsschädigungen nicht möglich und aufgrund der geringen Radionuklidinventare auch nicht erforderlich.

Mit der weitgehenden Verfüllung der Grubenbaue mit stützendem Versatz wird das primäre Ziel verfolgt, das die Grubengebäude umgebende Gebirge zu stützen und dadurch seine abdichtende Wirkung (Integrität) gegenüber Deckgebirgslösungen zu erhalten. Weiterhin sollen durch den hohen Verfüllgrad der Grubenbaue mit Versatz im Fall eines Lösungszutritts Auf- und Umlöseprozesse insbesondere im Bereich von Kalilagern beschränkt werden, um die Stabilität der Grubenbaue zu erhalten. Hierdurch werden weitere Lösungszutritte auf ein Minimum beschränkt und es kommt an der Tagesoberfläche nicht zu senkungsbedingten Schäden.

---

<sup>5</sup> Das BfS versteht unter dem Begriff „Verfüllkonzept“ ein technologisches Konzept zum Einbringen des Salzbetons in die Grubenbaue (siehe [P 220] Kapitel 9). Wir erweitern den Begriff auch auf die Festlegung des Verfüllmaterials und die Vorgehensweise bei der Festlegung der Verfüllgrade und der Verfüllreihenfolge.

### **3.1.1.2. Verfüllmaterial**

Nach Kapitel 2.6 des Plans werden die Streckenabdichtungen mit Ausnahme der Abdichtung auf der 4. Sohle Bartensleben zum Ostfeld aus Salzbeton M2 gebaut. Als Salzbeton wird ein Baustoff bezeichnet, der aus Zement, Steinkohlenflugasche als Betonzusatzstoff, Salzgrus als Zuschlag und Wasser besteht ([A 281] S. 159).<sup>6</sup>

Bei einzelnen Abschnitten dieser Abdichtungen wird die Kontaktzone Streckensaum/Betonkörper mit einer Zementsuspension injiziert.

Die Abdichtung auf der 4. Sohle zum Ostfeld soll aus MgO-Beton errichtet werden, da sie im Anhydrit stehen wird, der – anders als das Salzgestein – nicht kriechfähig ist. Die ausreichende Anbindung von Streckensaum und Betonkörper soll durch das Quellen des MgO-Betons erzeugt werden. Als MgO-Beton wird ein Baustoff bezeichnet, der aus MgO als Bindemittel, Mikrosilika als Betonzusatzstoff, Quarzsand und Anhydritmehl als Zuschlag, Fließmittel und MgCl<sub>2</sub>-Lösung als Anmischflüssigkeit besteht ([A 281] S. 162).<sup>7</sup>

Für die Verfüllung der Grubenbaue kommt Salzbeton M3 zum Einsatz.

Die Verfüllung der Bohrungen erfolgt mit Magnesiabinder.

### **3.1.1.3. Verfüllumfänge**

Entsprechend Kapitel 2.6 des Plans werden während der Stilllegung 4,0 Mio. m<sup>3</sup> Salzbeton verfüllt. Die verschiedenen Grubenbaue werden einer Verfüllkategorie zugeordnet, aus der sich ihr Verfüllgrad ableitet. In Kapitel 3.1.5 des Plan Stilllegung [A 281] sind die nachfolgend zusammengestellten Angaben zu den Verfüllkategorien enthalten:

- Zur **Verfüllkategorie I** gehören die Grubenbaue, in denen entsprechend dem Stilllegungskonzept Abdichtungen zu errichten sind.
- Der **Verfüllkategorie II** sind diejenigen Grubenbaue 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. Zum Erreichen der erforderlichen Stützwirkung werden diese Grubenbaue möglichst vollständig<sup>8</sup> verfüllt.
- Grubenbaue, die nicht den Verfüllkategorien I, II oder IV zugeordnet sind, werden der **Verfüllkategorie III** zugeordnet. Ausgenommen von dieser Zuordnung sind die Schächte Bartensleben und Marie sowie die Unterwerksbaue. Die der Verfüllkategorie III zugeordneten Strecken, Rolllöcher und Gesenke werden abschnittsweise vollständig verfüllt. Zur Sicherstellung der globalen Standsicherheit der Grubengebäude wird der Verfüllgrad eines jeden

<sup>6</sup> In den Kapiteln 3.1.3 und 3.1.5 des Plans werden für M2 und M3 Rezepturen (Ausgangsstoffe und deren Anteile) angegeben. Aus anderen Antragsunterlagen geht jedoch hervor, dass sich das BfS vorbehalten möchte, auch andere Verfüllmaterialien einzusetzen. Allen ist jedoch gemeinsam, dass sie ein zementbasiertes Bindemittel und Salzgrus als Zuschlag enthalten. Auf die unterschiedlichen Angaben zu den zulässigen Verfüllmaterialien gehen wir in diesem Gutachten nicht ein.

<sup>7</sup> In Kapitel 3.1.3 wird für den MgO-Beton die Rezeptur (Ausgangsstoffe und deren Anteile) angegeben.

<sup>8</sup> Unter ‚möglichst vollständiger Verfüllung‘ verstehen wir, dass soweit verfüllt wird, wie mit dem aktuellen Stand der Technik erreichbar und unter Langzeitsicherheitsaspekten verhältnismäßig ist.

Steinsalzabbau einzeln festgelegt. Darüber hinausgehend werden die Steinsalzabbau so verfüllt, dass sich ein Verfüllgrad von 65 % pro Feldesteil in den Grubengebäuden Bartensleben und Marie ergibt.

- In der **Verfüllkategorie IV** werden grundsätzlich alle Kalilager inklusive der dazu gehörigen Strecken und Gesenke der Grubengebäude Marie und Bartensleben zusammengefasst. In allen Kalilagern (außer in den Unterwerksbauen) wird eine möglichst vollständige Verfüllung angestrebt.

Die Kalilager in den Unterwerksbauen des Südfelds werden nicht verfüllt und bleiben als Speichervolumen für Überschusslösungen und potenziell über den Schacht Bartensleben zutretende Lösungen erhalten.

#### **3.1.1.4. Durchführung der Verfüllung**

Der Salzbeton wird über Tage angemischt und über Rohrleitungen in Vorratsbehälter in der Grube gepumpt. Von dort aus wird der Salzbeton mittels Förderanlagen in die Grubenhohlräume gepumpt, deren Zugänge zuvor verschlossen wurden.

Die Verfüllung der Grubenbaue erfolgt von unten (d. h. tieferen Sohlen) nach oben (d. h. höheren Sohlen) und von den äußeren Bereichen auf die Schächte zu. Hierdurch soll verhindert werden, dass Überschusslösung den weiteren Verfüllbetrieb beeinflusst und aufgefangen werden muss. Um zu verhindern, dass ggf. kontaminierte Überschusslösung aus den Einlagerungsgrubenbauen in betrieblich noch genutzte Bereiche übertritt, werden temporäre Abdichtungen errichtet.

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 der Grubenbaue im Grubengebäude Marie beginnt etwa zeitgleich mit der Verfüllung im Grubengebäude Bartensleben, ebenfalls von unten nach oben und von außen nach innen auf den Schacht Marie zu.

#### **3.1.2. Systembeschreibung der Verfüllung [G 217]**

##### **3.1.2.1. Auslegungsanforderungen**

[G 217] enthält keine Angaben zum Stilllegungskonzept. Es wird jedoch angegeben, dass folgende sicherheitstechnische Auslegungsanforderungen bestehen<sup>9</sup>:

- Behinderung des Transports von Lösungen in die Einlagerungsbereiche und des Transports von Schadstoffen und potenziell kontaminierten Lösungen aus den Einlagerungsbereichen,
- Erhalt der Integrität der Salzbarriere,

##### Anmerkung:

Die Erfüllung dieser Auslegungsanforderung kann für die Restgrube nicht nachgewiesen werden, da hier nach Aussage des BfS die Integrität der Gebirgsbarriere nicht

---

<sup>9</sup> Unter „sicherheitstechnischen Auslegungsanforderungen“ versteht das BfS hier die sich aus der Langzeitsicherheit hinsichtlich des Strahlenschutzes und des Grundwasserschutzes ergebenden Auslegungsanforderungen und nicht die Anforderungen aus der Bergbausicherheit.

nachgewiesen werden kann. Für Lager H ist davon auszugehen, dass die Barrierenintegrität nicht mehr besteht und die Auslegungsanforderung somit unerfüllbar ist.

- Grundwasserschutz.

Anmerkung:

Dies ist ein Schutzziel und keine Auslegungsanforderung, d. h. keine Anforderung an ein Element oder eine Maßnahme der Stilllegung.

Weiterhin werden folgende betriebliche Auslegungsanforderungen aufgeführt:

- Gewährleistung der Standsicherheit betrieblich genutzter Grubenbaue,

Anmerkung:

In [A 281] (Kapitel 5.1) wird dagegen angegeben, dass die Verfüllung des Grubengebäudes so erfolgt, dass die Standsicherheit des gesamten Grubengebäudes während des Stilllegungsbetriebs nachgewiesen ist und der Arbeitsschutz in betrieblich genutzten Grubenbauen gewährleistet ist.

- Verfüllung von unten nach oben und von außen zu den Schächten hin,
- Frühzeitige Verfüllung der 4. Sohle Bartensleben,
- Verhinderung eines unplanmäßigen Auslaufens von Versatz aus den verfüllten Hohlräumen,
- Verhinderung des Abfließens von Überschusslösung aus den Einlagerungsgrubenbauen in betrieblich noch genutzte Grubenbaue,
- Verfüllung betrieblich genutzter Grubenbaue zum spätest möglichen Zeitpunkt,
- Vermeidung einer planmäßigen Lösungshaltung,
- Aufrechterhaltung der Zugänglichkeit von Feldesteilen möglichst bis zu deren Verfüllung,
- Verfüllbetrieb im 3-Schichtbetrieb bei einer Verfüllleistung im Normalbetrieb von bis zu 2.250 m<sup>3</sup>/d,
- Vergleichmäßigung der Verfüllleistung über einen möglichst langen Zeitraum der Verfüllung sowie
- Einbringen eines Gesamtversatzvolumens von ca. 4,0 Mio. m<sup>3</sup>.

### 3.1.2.2. Verfüllmaterial

Für die Verfüllung der Steinsalzabbau, Kalilagerteile, Strecken, Rolllöcher und Gesenke ist als Referenzmaterial Salzbeton vorgesehen.

Anmerkung:

Die Bedeutung des Begriffs „Referenzmaterial“ wird in [G 217] nicht erläutert.

Abzudichtende untertägige Bohrungen werden „mit abbindenden Baustoffen wie z. B. Magnesia-binder“ verfüllt.

Es wird ein Großbohrloch zwischen Westfeld und Südfeld zum Ausgleich der nach Abschluss der Stilllegung entstehenden Gasdrücke in beiden Feldern errichtet, das mit Schotter verfüllt wird.

### **3.1.2.3. Verfüllumfänge**

Es werden die Verfüllkategorien I bis IV beschrieben und es wird angegeben, dass alle Grubenbaue hinsichtlich ihres jeweiligen Verfüllgrads einer dieser Verfüllkategorien zugeordnet werden. Die Unterwerksbaue im Südfeld sollen nicht verfüllt werden.

### **3.1.2.4. Durchführung der Verfüllung**

Der Salzbeton wird außerhalb des ERAM als pumpfähige Mischung hergestellt, an der Schachtanlage Bartensleben an eine Förderanlage übergeben, über eine Rohrleitung zum Schacht, durch diesen nach unter Tage und dort in die zu verfüllenden Grubenbaue gefördert.

Die Verfüllung der Grubenbaue kann auf zwei unterschiedliche Arten erfolgen. Entweder werden Abbau durch Bohrungen (von den sogenannten Bohrorten aus) erschlossen und der Versatz über verrohrte Bohrungen in die Abbau eingebracht, während gleichzeitig die verdrängte Luft über Entlüftungsbohrungen entweicht. Oder es werden – besonders zur Verfüllung von Kalilagern und Strecken – Verfüllleitungen (von den sogenannten Verfüllorten aus) in den zu verfüllenden Grubenbau geführt und dieser wird im Rückbau abschnittsweise unter Einsatz von Verschlüssen verfüllt. Im ersten Fall wird versucht, die zu verfüllenden Abbau von der darüber liegenden Sohle aus in die firsthöchsten Bereiche anzubohren. Der Füllstand des Salzbetons in Grubenbauen, für die Anforderungen an den Verfüllhöhe bestehen, wird „z. B. durch Messsensoren durch Entlüftungs- und/oder Verfüllbohrungen hindurch“ überwacht.

Es wird darauf hingewiesen, dass sich aus geomechanischer Sicht keine Anforderung an die Verfüllreihenfolge ergebe. Diese resultiert lediglich aus der Forderung, den Zutritt von Überschusslösung aus verfüllten Grubenbauen und insbesondere aus Einlagerungsgrubenbauen in betrieblich noch genutzte Grubenbaue zu vermeiden.

Die übrigen Angaben zur Durchführung der Verfüllung entsprechen denen in [A 281] bzw. konkretisieren diese. So wird u. A. angegeben, dass die temporären Abdichtungen zur Verhinderung eines Abflusses ggf. kontaminierter Überschusslösung aus den Einlagerungsgrubenbauen in betrieblich noch genutzte Bereiche ausschließlich auf der 4. Sohle errichtet werden und dass sie sofort wirksam sein müssen, allerdings nur für einen Zeitraum von 12 Jahren. Weiterhin wird angegeben, dass die Verfüllung der Grubenbaue, die als Stapelräume für zufließende Lösung aus dem Tropfbereich des Kalilagers H dienen, erst nach der Verfüllung dieses Laugenzutrittsbereichs erfolgt.

### **3.1.3. Verfüllplan [P 220]**

#### **3.1.3.1. Stilllegungskonzept**

Zum Stilllegungskonzept wird in [P 220] angegeben:

*„Das Verfüll- und Verschleißkonzept zur Stilllegung des (...) ERAM basiert auf einem möglichst hohen Verfüllgrad der Grubenhohlräume (...) und umfasst technische Barrieren für die Abdichtung der Schächte Bartensleben und Marie und speziell ausgewählter Strecken.“*



„Wichtigstes Merkmal des Stilllegungskonzepts ist nach [1/2]<sup>10</sup>, dass die bestehenden Hohlräume des gesamten Grubengebäudes weitgehend mit einem fließfähigen Salzbeton verfüllt werden, derart dass nach der Stilllegung

- die gebirgsmechanische Stabilität des Grubensystems langfristig gesichert ist,
- die Bewegung von Salzlösung im Grubengebäude generell eingeschränkt wird,
- ausgewählte Strecken und Grubenbaue firstbündig verfüllt sind und eine spezielle hydraulische Barriere (Abdichtung) gegen den Zutritt von Salzlösungen in die Einlagerungsbereiche und -grubenbaue bilden und den späteren Nuklidaustrag verzögern,
- Lösungs- und Umlösungsprozesse durch lokal nur beschränkt vorhandene Lösungsvolumina begrenzt werden.“

Im Hinblick auf den zweiten Punkt wird in [P 220] Kapitel 4 angegeben, dass – zusätzlich zu den hydraulischen Barrieren – ausgewählte Streckenbereiche „möglichst vollständig“ verfüllt werden sollen. Es würden (u. a.) solche Streckenbereiche ausgewählt, die durch ihre vollständige Verfüllung eine zusätzliche Behinderung des Zufließens von Lösungen zu den Einlagerungsbereichen von potentiellen Zutrittsstellen aus darstellen bzw. das Auspressen von Lösungen in das offene Grubengebäude behindern. „Die Verfüllabschnitte dieser möglichst vollständig zu verfüllenden Streckenbereiche sind damit angeordnet

- zwischen Zutrittsstelle und Abdichtung und
- zwischen Abdichtung und Einlagerungsgrubenbau im Einlagerungsbereich sowie
- im Grubenfeld Marie zwischen der Zutrittsstelle im Kalilagerteil H und dem Grubenfeld Bartensleben sowie zwischen dem Grubenfeld Bartensleben und dem Schacht Marie.“

In Kapitel 4 wird angegeben, dass das Stilllegungskonzept die Errichtung eines Großbohrlochs als (langfristig wirksamer) Gasweg zwischen dem Westfeld und dem Südfeld beinhaltet, um zwischen diesen einen Ausgleich des Gasdrucks zu gewährleisten.

In Kapitel 5 wird angegeben, dass die Einlagerungsgrubenbaue möglichst zu 100 % verfüllt werden sollen. Es wird eingeschränkt, dass eine Verfüllung nur dann erfolgen soll, wenn

- die Einlagerungsgrubenbaue zugänglich oder über Verfüllbohrungen erreichbar sind,
- durch ihre Verfüllung eine Freisetzung von Radionukliden behindert wird und
- durch ihre Verfüllung keine relevanten Freisetzungen (während der Durchführung der Verfüllmaßnahme) bedingt wird.

---

<sup>10</sup> Bei diesen Unterlagen handelt es sich um die Langzeitsicherheitsanalysen [P 189] und [P 190], die durch die derzeit aktuellen Fassungen [P 277] und [P 278] ersetzt wurden.

### 3.1.3.2. Verfüllmaterial

Die Verfüllung der Grubenbaue erfolgt mit Salzbeton. In [P 220] wird Salzbeton definiert als „Baustoff, bestehend aus den Grundbestandteilen Zement, Betonzusatzstoff, z. B. Steinkohlefilterasche, Salzzuschlag sowie Wasser oder Salzlösung als Anmachflüssigkeit“.

Um ein konvergenzbedingtes Verschließen des Gaswegs zwischen dem Westfeld und dem Südfeld zu verhindern, soll das Großbohrloch mit Schotter („z. B. Basalt mit ca. 16 mm Größtkorn“) verfüllt werden.

### 3.1.3.3. Verfüllumfänge

In [P 220] werden die Grubenbaue des ERAM – mit Ausnahme der Schächte und der Unterwerksgrubenbaue – einer Verfüllkategorie zugeordnet und es werden grubenbauspezifisch die jeweils geplante Verfüllmenge und der jeweils geplante Verfüllgrad angegeben.

In [P 220] wird der Begriff ‚Verfüllgrad‘ definiert als

- Verhältnis von Verfüllhöhe zu aufgefahrener Höhe eines Hohlraums bei geomechanisch erforderlicher Stützwirkung des Versatzes bzw.
- Verhältnis von verfülltem Volumen zu aufgefahrener Volumen eines Hohlraums bei geforderter Begrenzung des verbleibenden Resthohlraums durch Versatz.

Für die Volumenbilanzierung wird in [P 220] der volumenbezogene Verfüllgrad herangezogen unter der vereinfachenden Annahme, dass beide Verfüllgrade gleich sind.

Bei der Festlegung des erforderlichen Verfüllgrades eines Grubenbaus wird das Porenvolumen des Altversatzes und des zusätzlich eingebrachten Versatzes nicht berücksichtigt. Der nach dem Verfüllen des Grubenbaus verbleibende Resthohlraum resultiert also nur aus der Differenz zwischen aufgefahrener Hohlraumvolumen und eingebrachtem Versatzvolumen.

Die Füllkategorien werden in [P 220] wie folgt beschrieben:

- Der **Verfüllkategorie I** werden gemäß [P 220] Kapitel 4 diejenigen Grubenbaue zugeordnet, in denen (Strecken-)Abdichtungen mit einer mittleren Anfangspermeabilität von  $\leq 10^{-18}$  m<sup>2</sup> errichtet werden sollen.

Weiterhin werden dieser Kategorie Bohrungen zugeordnet, die im Grubengebäude bereits vorhanden sind und die auf Grund von Anforderungen verfüllt werden sollen. Hinsichtlich der Anforderungen wird auf die Unterlage „Kriterien für das Verfüllen von Bohrungen“ [P 145] verwiesen. Darunter fallen Bohrungen, die sich in den Bereichen befinden, in denen Abdichtungsbauwerke vorgesehen sind und die zur Verkürzung der hydraulisch wirksamen Länge führen können. Die Bohrungen sind qualifiziert mit einer der Abdichtungen entsprechenden Permeabilität zu verfüllen.

- In der **Verfüllkategorie II** sind die Grubenbaue zusammengefasst, die geomechanisch durch den eingebrachten Versatz zu stabilisieren sind:
  - Abbaue des Zentralteils, die im Rahmen der bGZ verfüllt wurden und

- Abbaue, die in der Szenarienanalyse [P 67] als potenziell zutrittsgefährdet ausgewiesen werden (mit Ausnahme der Kalilagerteile, die in der Verfüllkategorie IV zusammengefasst werden).

Die geforderte geomechanische Stützwirkung wird gemäß [P 220] nach bisheriger Abschätzung mit einer weitgehenden Firstanbindung erreicht. Der hierfür erforderliche Verfüllgrad wird rechnerisch mit 95 % für die größeren Steinsalzabbaue angenommen.

Für Grubenbaue mit kleineren Abmessungen (z. B. Strecken, Rolllöcher etc.) wird ein erreichbarer Verfüllgrad von ca. 100 % angenommen.

Anmerkung:

Im Ergebnis eines Vergleichs der in [P 67] Abb. 7 visualisierten potenziell zuflussgefährdeten Grubenbaue mit der in [P 220] Abb. 4-1 bis 4-21 dargestellten Zuordnung von Grubenbauen zu den Verfüllkategorien kommen wir zu dem Ergebnis, dass die in [P 67] als potenziell zuflussgefährdet eingeschätzten Grubenbaue in [P 220] i. d. R. der Verfüllkategorie II zugeordnet wurden.

Es wurden zwei Ausnahmen identifiziert: In der Südabteilung der Grube Marie, Kalilagerteil M, ist für die als potenziell zuflussgefährdet eingeschätzten Steinsalzabbaue 04YKA82/R001 und 04YKA82/R002 eine Verfüllung der Kategorie III statt Kategorie II vorgesehen. Gemäß ERAM HIS beträgt der für diese Abbaue vorgesehene Verfüllgrad jedoch 100 %. Dies wird in [P 220] Anhang 16.8 (Südostansicht) zumindest für den Abbau 04YKA82/R001 bestätigt; für den Abbau 04YKA82/R002 sind dort keine speziellen Informationen enthalten.

Wir gehen daher davon aus, dass diese Abweichung lediglich formaler Natur ist und daraus keine Abweichung von dem gemäß Kategorie II vorgesehenen Verfüllgrad von ca. 100 % resultiert.

- In die **Verfüllkategorie III** fallen alle Grubenbaue, die nicht den Kategorien I, II oder IV angehören, sowie neu aufzufahrende Grubenbaue wie Strecken oder Flächen und das Großbohrloch zwischen Westfeld und Südfeld.

- Steinsalzabbaue:

Für jeden Steinsalzabbau ist zunächst der aufgrund der geomechanischen Anforderungen erforderliche Verfüllgrad festzulegen. Diese Festlegung erfolgt gemäß [P 220] Kapitel 6 entsprechend der in [P 220] Kapitel 4 erläuterten Verbruchtheorie sowie entsprechend der erforderlichen Pfeilereinbettung<sup>11</sup>.

Anschließend erfolgt eine Überprüfung, ob die Anforderung eines durchschnittlichen Verfüllgrades von 65 % je Feldesteil erfüllt ist. Diese Überprüfung erfolgt unter Einbeziehung der Verfüllvolumina der Grubenbaue der Verfüllkategorie II, jedoch nicht der Kalilagerteile der Verfüllkategorie IV.

---

<sup>11</sup> Zur Darstellung und Bewertung der Verbruchtheorie und des Konzepts der Pfeilereinbettung (in [P 212] als „Pfeilerschlankheit“ bezeichnet) verweisen wir auf [BS 11c].

Sofern dieser Verfüllgrad nicht erreicht ist, werden die Verfüllgrade einzelner Grubenbaue entsprechend erhöht. Dazu wird in [P 220] Kapitel 4 ausgeführt:

[Es gibt] „*Abbaue, die auf Grund der guten infrastrukturellen Erreichbarkeit ohne weitere Anforderungen mit einem hohen Verfüllgrad zugunsten von ungünstig gelegenen Abbauen verfüllt werden.*“.

Anmerkung:

In [P 220] Kapitel 6 wird diese nur eingeschränkt verständliche Aussage wie folgt erläutert: Sofern eine durchschnittlich 65 %ige Verfüllung eines Feldesteils allein aufgrund der geomechanisch erforderlichen Verfüllgrade nicht erreicht wird, sollen die Verfüllgrade einzelner Grubenbaue, bei denen dies mit vergleichsweise geringem Aufwand möglich ist, erhöht werden. Grubenbaue, die auf Grund der geomechanischen Randbedingungen nicht für eine Verfüllung vorzusehen sind, werden dabei nicht einbezogen.

- Strecken, Rolllöcher und Gesenke:

Es wird in [P 220] Kapitel 4 ausgeführt:

„*Bei den Strecken, Rolllöchern und Gesenken der Verfüllkategorie II wird der durchschnittliche Verfüllgrad von ca. 65 % je Feldesteil durch eine abschnittsweise vollständige Verfüllung dieser Grubenbaue erreicht.*“.

Anmerkung:

Diese Aussage lässt vermuten, dass das Erreichen dieses durchschnittlichen Verfüllgrads für die verschiedenen Grubenbauarten separat erfolgen soll, d. h. dass die Erfüllung der Anforderung für die Grubenbauarten ‚Steinsalzabbau‘ und ‚Strecken, Rolllöcher, Gesenke‘ getrennt geprüft wird. Eine solche Vorgehensweise wird allerdings in [P 220] nicht explizit erläutert.

Für die vollständige Verfüllung von Strecken werden Streckenbereiche ausgewählt, bei denen eine solche Verfüllung Vorteile im Zusammenhang mit den Stilllegungsmaßnahmen hat (Verhinderung des Auslaufens von Versatzstoffen aus z. B. Rolllöchern, Behinderung des Zufließens von Lösungen zu den Einlagerungsbereichen und des Auspressens von Lösungen aus den Einlagerungsgrubenbauen). Diese vollständig zu verfüllenden Grubenbaue werden in [P 220] Kapitel 4 näher erläutert und sind dort in Ausschnitten aus dem Risswerk gesondert gekennzeichnet („*Zusätzliche Streckenverfüllung*“).

Der Verfüllkategorie III zugeordnete Strecken (Lagerbegleitstrecken und benachbarte Strecken) und Rolllöcher, die sich in der Nähe von Kalilagerteilen befinden, sollen wie die Kalilager mit einem Verfüllgrad von 90 bis 100 % verfüllt werden.

Gemäß [P 220] Kapitel 4 wird aus den Langzeitsicherheitsanalysen [P 189] und [P 190] hergeleitet, dass die Grubenbaue insgesamt mit einem mittleren Verfüllgrad von ca. 65 % pro Feldesteil verfüllt werden sollten<sup>12</sup>. In [P 220] Kapitel 6 wird angegeben, dass diese Vorgabe bei der Festlegung der Verfüllgrade für Grubenbaue der Verfüllkategorie III berücksichtigt wird.

- Zur **Verfüllkategorie IV** zählen alle Kalilagerteile. Der geforderte Verfüllgrad wird dahingehend definiert, dass alle durch Bohrungen oder andere Zugänge erreichbaren Kalilagerteile für sich mit dem bestmöglichen Verfüllgrad (ca. 90 - 100 %) verfüllt werden. Durch den hohen Verfüllgrad wird bei potenziell zuflussgefährdeten und geomechanisch zu stabilisierenden Kalilagerteilen die erforderliche Stützwirkung durch den Versatz erreicht.

In den Abbildungen 4-1 bis 4-21 von [P 220] ist die Zuordnung der Grubenbaue Bartensleben und Marie zu den Verfüllkategorien in den Sohlenniveaus -253 mNN bis -372 mNN (Bartensleben) bzw. -231 mNN bis -372 mNN (Marie) grafisch dargestellt. Im Rahmen der bGZ vorgezogen verfüllte Grubenbaue des Zentralteils sowie vollständig zu verfüllende Strecken der Verfüllkategorie III sind gesondert gekennzeichnet.

Die vorgesehene Verfüllung der Einlagerungsgrubenbaue (in [P 220] mit EH abgekürzt) wird in [P 220] Kapitel 5 erläutert. Dort wird angegeben, dass zu den EH alle Grubenbaue zählen, in die radioaktive (Fremd-)Abfälle und betriebliche radioaktive Abfälle des ERAM eingelagert wurden. Darüber hinaus werden Grubenbaue, in denen derzeit radioaktive Stoffe zwischengelagert sind sowie einige Grubenbaue, die an die Einlagerungskammern angrenzen, als EH definiert.

Die EH werden i. d. R. den Verfüllkategorien III oder IV zugeordnet. Eine Ausnahme bilden zwei Steinsalzabbau im Zentralteil, die der Verfüllkategorie II zugeordnet sind (Abbaue 1a nördlich und 1a südlich der 4a-Sohle).

Von den EH sollen nur diejenigen verfüllt werden,

- die noch zugänglich bzw. über Verfüllbohrungen erreichbar sind,
- deren Verfüllung aus Strahlenschutzgründen relevant ist, d. h. durch deren Verfüllung eine Freisetzung von Radionukliden behindert wird, und
- durch deren Verfüllung keine relevante Freisetzung von Radionukliden bedingt ist z. B. infolge verdrängter Wetter.

Die EH sollen möglichst zu 100 % verfüllt werden. Davon ausgenommen sind die EH, die zu den Unterwerksbauten der Grube Bartensleben zählen, da deren Verfüllung gemäß [P 220] nicht erforderlich ist. Die EH Abbaue 1, 2 und 3 auf der 5a-Sohle des Südfeldes sind zu Beginn der Stilllegungsphase bereits verfüllt. In [P 220] Kapitel 5 sind nähere Angaben zur Verfüllung der EH in den Feldesteilen Südfeld, Westfeld, Nordfeld, Zentralteil und Ostfeld enthalten.

---

<sup>12</sup> Es wird nicht angegeben, in welcher Unterlage die in [P 220] erwähnte Herleitung erfolgt. Aus den Langzeitsicherheitsanalysen ist diese Anforderung nicht zu entnehmen. Auf diesen Sachverhalt gehen wir in Kapitel 4 ein.

#### **3.1.3.4. Durchführung der Verfüllung**

Die Angaben zur Durchführung der Verfüllung entsprechen denen in [G 217] und konkretisieren diese. So wird u. A. angegeben, dass die Verfüllung von Grubenbauen über Bohrungen angestrebt wird und die Verfüllung im Rückbau mittels Verfüllleitungen nur dann zur Anwendung kommen soll, wenn die Bohrlochtechnologie aus geologischen, geometrischen oder technischen Gründen nicht anwendbar ist. Weiterhin wird angegeben, welche Grubenbaue mittels welcher Technologie verfüllt werden sollen.

#### **3.1.4. Angaben in sonstigen Unterlagen**

In den Quellenangaben zum Plan Stilllegung [A 281Q] werden zu Kapitel 3.1.5 die Quellen [P 67], [P 215], [G 217], [P 220], [P 221], [G 228], [G 231], [P 232], [P 264], [P 277] und [P 278] genannt. Zudem wurden wir vom MLU aufgefordert, in die Prüfung des Verfüllkonzepts auch die Unterlage [G 235] einzubeziehen.

In der ‚Szenarienanalyse – Geologische Langzeitbewertung und Ermittlung der Zuflussszenarien ohne technische Maßnahmen‘ [P 67] sind keine näheren Angaben zu den bei der Stilllegung zu erreichenden Verfüllgraden enthalten. Es werden dort die potenziell zuflussgefährdeten Grubenbaue abgeleitet und aufgeführt, die gemäß Plan Stilllegung und [P 277] der Verfüllkategorie II zugeordnet werden und möglichst vollständig verschlossen werden sollen. Diese Grubenbaue sind in [P 67] Anlage 1 tabellarisch zusammengestellt.

Auf die Angaben in den Langzeitsicherheitsanalysen [P 277] und [P 278] und die Unterlage [P 215] (Stand sicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers: Grubenteil Südfeld) wird in Kapitel 4 näher eingegangen. In den Unterlagen [P 221] (Salzbeton – Zusammenstellung der Eigenschaften und Materialkennwerte, Referenzmaterial M3), [G 228] (Systembeschreibung: Material für die Stilllegung), [G 231] (Systembeschreibung der Bewitterung des ERAM in der Betriebsphase der Stilllegung), [P 232] (Grundlagenermittlung und Konzeptplanung zur Grubenbewitterung und Klimatechnik) und [P 264] (Errichtung und Nachweisführung für die Funktionstüchtigkeit von temporären Abdichtungen) sind keine hier relevanten ergänzenden Angaben enthalten.

Die Übereinstimmung der Angaben in [G 235] (Systembeschreibung Versatztransport Bartensleben) mit den Angaben im Plan Stilllegung [A 281] wurde bereits in unserem 1. Zwischenbericht zur Phase 1 des Prüfkomplexes 9 vom 28.09.2011 bewertet. Wir kommen zu dem Ergebnis, dass diese Übereinstimmung gegeben ist. In Bezug auf die hier zu prüfende Fragestellung sind in [G 235] keine relevanten ergänzenden Angaben enthalten.

## **3.2. Bewertung**

### **3.2.1. Anforderungen an die Stilllegung**

Die Stilllegung des ERAM muss so erfolgen, dass nach ihrem Abschluss die primären Schutzziele<sup>13</sup>

- Schutz der Bevölkerung im Hinblick auf den Strahlenschutz (D),
- Schutz der Bevölkerung und des öffentlichen Verkehrs vor Senkungen (OF),
- Schutz von Bodenschätzen und Bergwerken (SG) und
- Schutz des Grund- und Oberflächenwassers (W)

sowie das aus diesen abgeleitete sekundäre Schutzziel

- Schutz der geologischen Barriere (BI)

erfüllt werden. Zudem ist die

- Minimierung der Lösungszutritte und der Stofffreisetzungen mittels technischer Barrieren (TB) erforderlich.

Die Stilllegung hat dabei so zu erfolgen, dass die Schutzziele auch während der Durchführung erfüllt werden. Zusätzlich sind der Strahlenschutz für die Beschäftigten (D) und die Sicherheit des Betriebs (B) zu gewährleisten. Eine Zusammenstellung der hierzu erforderlichen Sicherheitsnachweise enthält [BS 12].

### **3.2.2. Stilllegungskonzept**

#### **3.2.2.1. Verfüllung der Grubenbaue mit stützendem Versatz**

Das wichtigste Schutzelement eines tiefen geologischen Endlagers – und auch des ERAM – hinsichtlich des Strahlenschutzes und des Gewässerschutzes in der Nachbetriebsphase ist seine geologische Barriere. Im Fall des ERAM ist deren Integrität nicht gewährleistet. Um zusätzliche Zuflüsse in das Grubengebäude langfristig zu verhindern bzw. zu minimieren, sollte die Integrität der geologischen Barriere soweit wie unter den gegebenen Verhältnissen noch möglich erhalten bzw. so schnell wie möglich wieder hergestellt werden.

Die einzige Möglichkeit, die geologische Barriere vor einer weiteren Entfestigung zu schützen, besteht darin, das in der Grube anstehende Gebirge zu stützen. Es besteht somit die Notwendigkeit, die Grubenbaue mit stützendem Versatz mindestens so weit zu verfüllen, wie dies erforderlich ist, um

- in den Gebirgsbereichen, in denen gegenwärtig die Integrität der geologischen Barriere nachgewiesen werden kann, diese langfristig zu erhalten und
- in den Gebirgsbereichen, in denen gegenwärtig die Integrität der geologischen Barriere nicht nachgewiesen werden kann, die Gebirgsspannungen derart zu verändern, dass sich die Beanspruchung der geologischen Barriere gegenüber dem derzeitigen Zustand verringert und

---

<sup>13</sup> Die Kürzel hinter den Schutzzielen geben die Kategorien der entsprechenden Nachweiserfordernisse in [BS 12] an.

die Barrierenintegrität für einen möglichst frühen Zeitpunkt in der Zukunft nachgewiesen werden kann.

Um geologischen Unwägbarkeiten in der Salzbarriere (Klüfte, lösungsgefüllte Hohlräume, gestörte Zonen, Anhydritschollen etc.) Rechnung zu tragen, sollte die Mächtigkeit des Gebirgsbereichs, für den die Barrierenintegrität nachgewiesen werden kann, möglichst groß sein. Dies spricht für eine möglichst weitgehende Verfüllung der Grubenbaue mit sofort stützendem Versatz, um eine Reduzierung der Entfestigung des integren Gebirgsbereichs zu erreichen.

Weiterhin kann der Schutz der Tagesoberfläche eine teilweise Verfüllung der Gruben mit stützendem Versatz erforderlich machen.

Um die Sicherheit des Betriebs zu gewährleisten kann es erforderlich sein, einzelne Grubenbaue zumindest teilweise zu verfüllen. Hieraus ergeben sich ebenfalls Anforderungen an den Zeitpunkt und den Grad der (Mindest-)Verfüllung.

Die Verfüllung mit sofort stützendem Versatz hat gegenüber einer Verfüllung mit kompressiblem Versatz den Vorteil eines früheren und damit wirksameren Schutzes der Gebirgsbarriere gegenüber entfestigenden Kriechprozessen und Spannungsumlagerungen. **Die vom BFS vorgesehene weitgehende Verfüllung des ERAM (bestehend aus den Gruben Bartensleben und Marie) mit sofort stützendem Versatz sehen wir auf konzeptioneller Ebene deshalb als zweckmäßig an.**

In der der Dauerbetriebsgenehmigung für das ERAM zugrunde liegenden Langzeitsicherheitsanalyse (im Sicherheitsbericht von 1984 [ERA 84]) sowie im Sicherheitsbericht von 1989 [ERA 89] wird eine gezielte Flutung des ERAM unterstellt. Eine gezielte Flutung der Grube mit Salzlake als „Flüssigversatz“ führt

- zu einer frühzeitigen Mobilisierung der Radionuklide mit dem Grundwasser,
- zu Auf- und Umlöseprozessen und damit zur Entstehung zusätzlicher Fließwege in der Grube und möglicherweise in den die Grube überlagernden Kalisalzen sowie
- zur schnelleren Bildung hoher Fluiddrücke durch Wasserstoffgasbildung aufgrund von Metallkorrosion

und kann deshalb zu einem frühzeitigen Auspressen von kontaminierter Lösung aus der Grube in das Deckgebirge und in der Folge mit höheren potentiellen Strahlenexpositionen führen. Ein „Flüssigversatz“ der Grube dürfte deshalb als Vorzugsoption ausscheiden. Diese Einschätzung sollte jedoch im Rahmen der Langzeitsicherheitsanalyse belegt werden.

**E 1: Im Rahmen der Langzeitsicherheitsanalyse sollte gezeigt werden, dass die trockene Verwahrung des ERAM gegenüber einer gezielten Flutung mit salzgesättigter Lösung (wie in den Sicherheitsberichten von 1984 und 1989 unterstellt) von Vorteil ist.**

Bei der Festlegung des Verfüllgrads über den aus den genannten Aspekten (Barrierenintegrität, Schutz der Tagesoberfläche, betriebliche Sicherheit) abgeleiteten Mindestgrad hinaus sind zusätzliche Aspekte zu berücksichtigen:

- Die bislang durchgeführten Langzeitsicherheitsanalysen zeigen, dass der Austrag von Radionukliden und anderen wassergefährdenden Stoffen aus der Grube auf verschiedene Arten vom Verfüllgrad abhängig ist:



- Die in der Grube und insbesondere in den eingelagerten Abfällen enthaltenen Metalle und organischen Stoffe können korrodieren bzw. abgebaut werden und dabei Gase freisetzen (i. W.  $H_2$ ,  $CH_4$  und  $CO_2$ ). Wenn diese nicht entweichen können bzw. nicht wie im Fall des  $CO_2$  chemisch gebunden werden und sich Gasdrücke oberhalb der minimalen Gebirgsspannungen<sup>14</sup> bilden, führt dies zur Ausbildung von Gaswegsamkeiten. Bei einem langsamen Anstieg des Gasdrucks, so wie dies bei einer kontinuierlichen Gasfreisetzung der Fall ist, bilden sich entlang von Korngrenzen mikroskopische Weitungen aus, in die Gas eindringen kann. Nach gegenwärtig herrschender Meinung schließen sich diese Weitungen nach Abfluss des Gases und Abbau des Gasdrucks auf den Wert der (negativen) Gebirgsspannung wieder, so dass es nicht zu einem Laugenzufluss zur Grube in umgekehrter Richtung kommen kann. Nach gegenwärtigem Stand von Wissenschaft und Technik kann das Ausbilden irreversibler und auch für Laugen zugänglicher Wegsamkeiten („fracs“) jedoch nicht sicher ausgeschlossen werden. Nach Möglichkeit sollten im Endlager deshalb Gasdrücke oberhalb der minimalen (negativen) Gebirgsspannungen vermieden werden. Dies setzt die Existenz eines ausreichend großen Hohlraumvolumens in der Grube zur Aufnahme von Gasen voraus.
- Je größer das lösungszugängliche (anfänglich luftgefüllte) Volumen in der Grube ist, desto länger ist die Zeitdauer, die für das Volllaufen der Grube benötigt wird.
- Je größer der Hohlraum des Fließweges der ausgepressten kontaminierten Lauge ist, desto länger dauert es, bis die kontaminierte Lauge die Grube verlässt.
- In für Dispersions- und Diffusionsvorgänge zugänglichen Hohlräumen entlang des Fließweges der ausgepressten kontaminierten Lauge kann kontaminierte Lösung (temporär) zurückgehalten werden. Je größer der zugängliche Hohlraum ist, desto größer ist die rückhaltende Wirkung.
- Je größer das Lösungsvolumen in der Grube nach dem Volllaufen ist, desto stärker sind die Vermischung und damit die Verdünnung kontaminierter Lösung vor ihrem Austritt aus der Grube.
- Je größer das Lösungsvolumen in der Grube nach dem Volllaufen ist, desto größer sind auch die für Transportprozesse zur Verfügung stehenden Lösungsvolumina in der Auspressphase und damit die Wahrscheinlichkeit, dass sorbierende Stoffe in das oberflächennahe Grundwasser eingetragen werden (und nicht in tieferen Bereichen sorbiert bleiben).
- Der Gesamtumfang der künftigen Senkungen an der Tagesoberfläche ist vom Umfang der Verfüllung abhängig. Der zeitliche Verlauf der Senkungen ist zudem von der Stützwirkung des Versatzes (sofort stützend oder erst zu einem späteren Zeitpunkt bzw. nach einer gewissen Kompaktion des Versatzes) abhängig.
- Zum Schutz benachbarter Bergwerke (bestehender oder künftiger) sollte die Lösungsmenge im ERAM nach einem Volllaufen möglichst gering sein. Hierdurch sinkt das Potential, durch Lösungsprozesse Wegsamkeiten außerhalb der heutigen Grube zu erzeugen.

<sup>14</sup> Da in der Geomechanik üblicherweise Zugspannungen mit einem positiven und Druckspannungen mit einem negativen Wert beschrieben werden, müsste es hier präzise heißen „oberhalb der minimalen negativen Gebirgsspannung“ ( $p_{Gas} > -\sigma_{min}$ ).

Vom BfS wird als Vorteil einer weitgehenden Verfüllung angegeben, dass hierdurch der Umfang an möglichen Lösungs- und Umlösungsprozessen reduziert wird. Im Hinblick auf den Schutz benachbarter Bergwerke ist dies unzweifelhaft von Vorteil. Im Hinblick auf die übrigen Schutzziele müssen Lösungs- und Umlösungsprozesse jedoch nicht unbedingt von Nachteil sein, wie folgende Überlegungen zeigen:

- In der Restgrube (Grube Marie sowie Grube Bartensleben ohne die abgedichteten Einlagerungsbereiche West-/Südfeld und Ostfeld) befinden sich ca. 0,75 Mio. m<sup>3</sup> lösungszugänglicher Porenraum im Altversatz. Zusammen mit technologisch bedingten Resthohlräumen dürfte das Mindesthohlraumvolumen in der Restgrube deshalb in der Größenordnung von 1 Mio. m<sup>3</sup> liegen. Wenn ein Hohlraumvolumen dieser Größenordnung durch Lösungszutritte vollgelaufen ist, kann die geologische Barriere nicht mehr intakt sein. Das Schutzziel „Integrität der geologischen Barriere“ ist dann hinfällig.
- Sofern durch (Um-)Lösungsprozesse keine zusätzlichen Wegsamkeiten zu den abgedichteten Einlagerungsbereichen erzeugt werden, ist die Verringerung von (Um-)Lösungsprozessen im Hinblick auf die Langzeitsicherheit kein Vorteil per se sondern muss im Rahmen der Langzeitsicherheitsanalyse bewertet werden. Salzungesättigte, der Grube zufließende Grundwässer werden sich primär am Salzspiegel, zwischen Salzspiegel und Grube sowie im Bereich der Eintrittsstelle in die Grube (also auf den oberen Sohlen) aufsättigen. Dabei wird im Bereich der Eintrittsstelle in die Grube lösungsbedingter Hohlraum entstehen. Es ist sehr wahrscheinlich, dass die Lösung in der Auspressphase die Grube auch wieder über diesen Pfad verlässt. Sofern der lösungsbedingt entstandene Hohlraum zu diesem Zeitpunkt nicht durch Konvergenz wieder geschlossen ist, wird die ausgepresste Lösung in diesem Hohlraum temporär gespeichert. Dies führt zu einer Verzögerung eines möglichen Stoffaustrags aus der Grube.

Wir kommen deshalb zu dem Ergebnis, dass die Verfüllung der Grubenbaue einen Mindestgrad aufweisen sollte, der aus den Forderungen nach Barrierenintegrität und nach dem Schutz der Tagesoberfläche ermittelt wird. Darüber hinaus sollte die Festlegung des Verfüllgrads das Ergebnis eines Optimierungsprozesses sein, in den die Ergebnisse einer entsprechenden Langzeitsicherheitsanalyse einfließen.

**E 2: Die Verfüllgrade der verschiedenen Grubenbaue des ERAM (bestehend aus der Grube Bartensleben und der Grube Marie) sollten so festgelegt werden, dass**

- (1) in den Gebirgsbereichen, in denen gegenwärtig die Integrität der geologischen Barriere nachgewiesen werden kann, diese langfristig erhalten bleibt,**
- (2) in den Gebirgsbereichen, in denen gegenwärtig die Integrität der geologischen Barriere nicht nachgewiesen werden kann, die Gebirgsspannungen derart verändert werden, dass sich die Beanspruchung der geologischen Barriere gegenüber dem derzeitigen Zustand verringert und die Barrierenintegrität für einen möglichst frühen Zeitpunkt in der Zukunft nachgewiesen werden kann,**
- (3) der Schutz der Tagesoberfläche gewährleistet ist und**
- (4) die Sicherheit des Betriebs gewährleistet ist.**

**Darüber hinaus sollten die Verfüllgrade im Rahmen eines Optimierungsprozesses festgelegt werden, in dem die Kriterien**

- **potentielle Strahlenexpositionen nach Abschluss der Stilllegung im Fall eines Volllaufens der Grube,**
- **technische Realisierungsmöglichkeit und**
- **Aufwand**

**zu berücksichtigen sind. Die Optimierung sollte so erfolgen, dass die unter (1) bis (4) aufgeführten Ziele nicht beeinträchtigt werden.**

Nach unserem Verständnis entspricht dies vom Grundsatz her der Vorgehensweise des BfS. Allerdings liegen die Nachweise zu den Punkten (1) bis (4) nicht vor bzw. werden überarbeitet und der angesprochene Optimierungsprozess ist in den Planunterlagen nicht ausreichend dargestellt. Hierauf gehen wir in den folgenden Kapiteln weiter ein.

#### **3.2.2.2. Abdichtung der Tagesschächte**

Da die Schachtröhren eine lokale Zerstörung der geologischen Barriere darstellen, über die schon gegenwärtig hohe Wassermenge in die Grube eindringen (ca. 12.000 m<sup>3</sup>/a), ist ihre dauerhafte und möglichst vollständige Abdichtung ein unverzichtbares Element der Stilllegung.

#### **3.2.2.3. Zusätzliche Schutzmaßnahmen – Möglichkeiten**

Da nach heutigem Kenntnisstand davon ausgegangen werden muss, dass die geologische Barriere zumindest im Bereich des Lagers H gestört und nicht mehr intakt ist, und dass in anderen Teilen der Gruben Bartensleben und Marie die Integrität der geologischen Barriere nicht nachgewiesen werden kann, muss beim Entwurf des Stilllegungskonzepts auch ein Volllaufen der Grube als wahrscheinliche Entwicklung berücksichtigt werden.

Das Stilllegungskonzept sollte deshalb neben dem Schutz der Barrieren und der Tagesoberfläche auch darauf ausgerichtet sein, bei einem Volllaufen der Grube die Wahrscheinlichkeit und den Umfang von Radionuklid- und sonstigen Schadstoffausträgen aus der Grube und damit deren mögliche schädlichen Auswirkungen auf die Schutzgüter Mensch und Umwelt zu verringern. Art und Umfang der hierzu vorgesehenen zusätzlichen Maßnahmen müssen dabei so festgelegt werden, dass sie nicht zu einer Schwächung der bestehenden geologischen Barriere führen. Weiterhin müssen sie das Ergebnis eines Optimierungsprozesses sein, bei dem einerseits eine Minimierung der Schadstoffausträge aus der Grube angestrebt wird, andererseits aber auch andere Einflussfaktoren wie Verlässlichkeit der technischen Realisierung und finanzielle Aufwendungen berücksichtigt werden.

Mögliche zusätzliche Maßnahmen zur Verringerung der Wahrscheinlichkeit oder/und des Umfangs von Schadstoffausträgen aus der Grube sind Maßnahmen

- zur Behinderung (d. h. zeitlichen Verzögerung) des Lösungszutritts zu den eingelagerten Abfällen in der Zulaufphase<sup>15</sup>,
- zur Reduzierung der Mobilisierung der Schadstoffe aus den Abfällen bei Kontakt mit Lösung,

<sup>15</sup> Der Nutzen einer solchen Verzögerung ergibt sich u. a. aus dem Zerfall von Radionukliden.

- zur chemisch bedingten Rückhaltung/Bindung von Schadstoffen in der Grube<sup>16</sup>,
- zur Rückhaltung/Speicherung kontaminierter Lösung in der Grube und
- zur Behinderung (d. h. zeitlichen Verzögerung) des Lösungsabflusses aus den eingelagerten Abfällen zur Abflusstelle aus der Grube in der Auspressphase<sup>15</sup>.

Im Folgenden gehen wir auf diese Maßnahmen ein.

#### 3.2.2.3.1. Behinderung des Lösungszutritts

Der Lösungszutritt zu den Abfällen kann prinzipiell dadurch behindert werden, dass die Fließwege zu den eingelagerten Abfällen eingeschränkt<sup>17</sup> werden (d. h. ihre Leitfähigkeit herabgesetzt wird) oder dass der hydraulische Gradient entlang der Fließwege verringert wird.

##### Einschränkung der Fließwege

Hinsichtlich einer Einschränkung der Fließwege kann der Weg eines potentiellen Lösungsflusses zu den eingelagerten Abfällen differenziert werden nach

- Wasserwegsamkeiten im Gebirge im Bereich der Zutrittsstelle,
- Fließwegen innerhalb des Grubenhohlraums, in den der Lösungszutritt aus dem Gebirge erfolgt,
- Fließwegen durch die Grube zwischen dem Grubenhohlraum mit dem Lösungszutritt und dem Grubenhohlraum mit den Abfällen (Einlagerungsgrubenbau) und
- Fließwegen innerhalb des Einlagerungsgrubenbaus.

Der Wasserweg im Gebirge im Bereich der Zutrittsstelle ist im Fall des ERAM nicht beeinflussbar. Bei den bekannten Zutrittsstellen (insbesondere im Lager H) sind Injektionsmaßnahmen in das Gebirge zur Reduzierung des Lösungszutritts ungeeignet, da sie das Risiko einer Verstärkung des Lösungszutritts beinhalten und ihre langfristige Wirksamkeit nicht vorhersehbar und eher zweifelhaft ist. Unbekannte potentielle Fließwege im Gebirge entziehen sich per se einer Behandlung.

Vom BfS sind keine Maßnahmen zur Abdichtung des Gebirges im Bereich von bestehenden oder möglichen Zutrittsstellen vorgesehen.

Wir sehen dies als sachgerecht an.

Die einzige Möglichkeit zur Einschränkung des Fließwegs innerhalb eines Grubenhohlraums mit Lösungszufluss ist die möglichst vollständige Verfüllung dieses Hohlraums mit einem Material möglichst niedriger Permeabilität. Durch Einbauten, Auflockerungszone und schon eingebrachtem Versatz erhöhter Permeabilität wird die Wirksamkeit dieser Maßnahme eingeschränkt.

Vom BfS ist eine möglichst vollständige Verfüllung der Grubenbaue, in die schon gegenwärtig ein Lösungszutritt erfolgt oder in die nach Einschätzung des BfS ein künftiger Lösungszutritt nicht ausgeschlossen ist („zutrittsgefährdete Grubenbaue“ der Verfüllkategorie II) vorgesehen. Da die

<sup>16</sup> Die im Südfeld und im Westfeld erfolgte Überschüttung der radioaktiven Abfälle mit Braunkohlenfilterasche stellt eine solche Maßnahme zur chemisch bedingten Rückhaltung/Bindung von Schadstoffen in der Grube dar.

<sup>17</sup> Unter ‚Einschränkung von Fließwegen‘ verstehen wir Maßnahmen, mit denen der Durchfluss entlang von Fließwegen behindert wird.

Verfüllung mit sofort stützendem Material erfolgen soll, wirkt sie zudem einer fortschreitenden Auflockerung des Gebirges und einer hierdurch ggf. verursachten Erhöhung des Lösungszutritts entgegen. Qualitativ führt diese Maßnahme zu einer Verbesserung der bestehenden Verhältnisse, ihre Wirksamkeit ist aber nicht prognostizierbar. Aus unserer Sicht steht der Umsetzung dieser Maßnahme nichts entgegen.

Aufgrund des hohen Durchbauungsgrads des ERAM bestehen zwischen dem Grubenbau mit einem potentiellen Lösungszutritt und dem Einlagerungsgrubenbau viele mögliche Fließwege, die parallel wirken. Eine Einschränkung des Lösungswegs ist dort besonders effektiv, wo sich dieses Netz an Fließwegen vollständig auf einige wenige, klar abgrenzbare Fließwege mit möglichst geringem Querschnitt konzentriert.

Vom BfS wurden für Ostfeld, Südfeld und Westfeld solche Engpässe des Fließwegenetzes identifiziert. Durch diese Engpässe muss die Lösung fließen, unabhängig davon, an welcher potentiellen Zutrittsstelle sie in die Grube eintritt. An diesen Stellen sieht das BfS die Errichtung von Streckenabdichtungen (in Verbindung mit der Abdichtung von Bohrlöchern; Verfüllkategorie I) vor.

**Konzeptionell sehen wir die Errichtung der vom BfS vorgesehenen Abdichtungen als zweckmäßig an. Die Standorte und Längen dieser Streckenabdichtung sind geeignet gewählt und nutzen die Möglichkeiten unter den bestehenden bergbaulichen Bedingungen an diesen Stellen praktisch vollständig aus. Bei der Errichtung dieser Abdichtungen bestehen Freiheitsgrade und damit Optimierungsmöglichkeiten hinsichtlich Aufbau und Materialien der Abdichtungen sowie der Einbautechnologie.** Dies ist Gegenstand des Prüfkomples 7.

Vom BfS ist für eine Reihe weiterer Strecken, die Fließwege zwischen einem Lösungszutritt und einem Einlagerungsgrubenbau sein können, eine möglichst vollständige Verfüllung mit Material geringer Permeabilität vorgesehen. In [P 220] werden für die Festlegung der innerhalb der Verfüllkategorie III möglichst vollständig zu verfüllenden Streckenbereiche die Kriterien

- ‚in der Restgrube zwischen (potentieller) Zutrittsstelle und Abdichtung‘,
- ‚im Einlagerungsbereich zwischen Abdichtung und Einlagerungsgrubenbau‘ sowie
- ‚im Grubenfeld Marie zwischen der Zutrittsstelle im Kalilagerteil H und dem Grubenfeld Bartensleben<sup>18</sup>‘

angegeben.

Konzeptionell sehen wir die (abschnittsweise) vollständige Verfüllung dieser Streckenabschnitte mit Material niedriger Permeabilität als zweckmäßig an. Allerdings wird dies in [P 220] nicht vollständig umgesetzt. Entsprechend dem dritten Punkt müsste in der **Grube Marie** eine (abschnittsweise) vollständige Verfüllung der Nordstecken A, B und G sowie des 2. Nordquerschlags westlich der Nordstrecke erfolgen (siehe Abbildung 3.2-1). Weiterhin bestehen Optimierungsmöglichkeiten hinsichtlich Material und Ausführung der vollständigen Verfüllung. Im Hinblick auf die Langzeitsicherheit ist es von Vorteil, den Grubenbereich mit dem Lösungszutritt zum Lager H von der übrigen Grube soweit möglich hydraulisch zu trennen. Dies könnte dadurch

---

<sup>18</sup> Dies schließt die in [P 220] angegebenen Streckenabschnitte zwischen Schacht Marie und dem Grubenfeld Bartensleben mit ein.

erreicht werden, dass die abschnittsweise vollständige Streckenverfüllung hier eine möglichst hohe Qualität aufweist, die der der Streckenabdichtungen entspricht. Hiervon betroffen sind der 3. Nordquerschlag (07YEQ74 R001) nordöstlich der Steinsalzabbau und der 2. Nordquerschlag (07YEQ73 R001) mit den angrenzenden Abschnitten der Nordstrecke sowie der Nordstecken A, B und G.

Im Rahmen der Optimierung des Verfüllkonzepts sollte geprüft werden, ob die angesprochenen Abdicht- und Verfüllmaßnahmen zweckmäßig sind bzw. weshalb auf solche Maßnahmen verzichtet werden kann (siehe E 6 in Abschnitt 3.2.2.4).

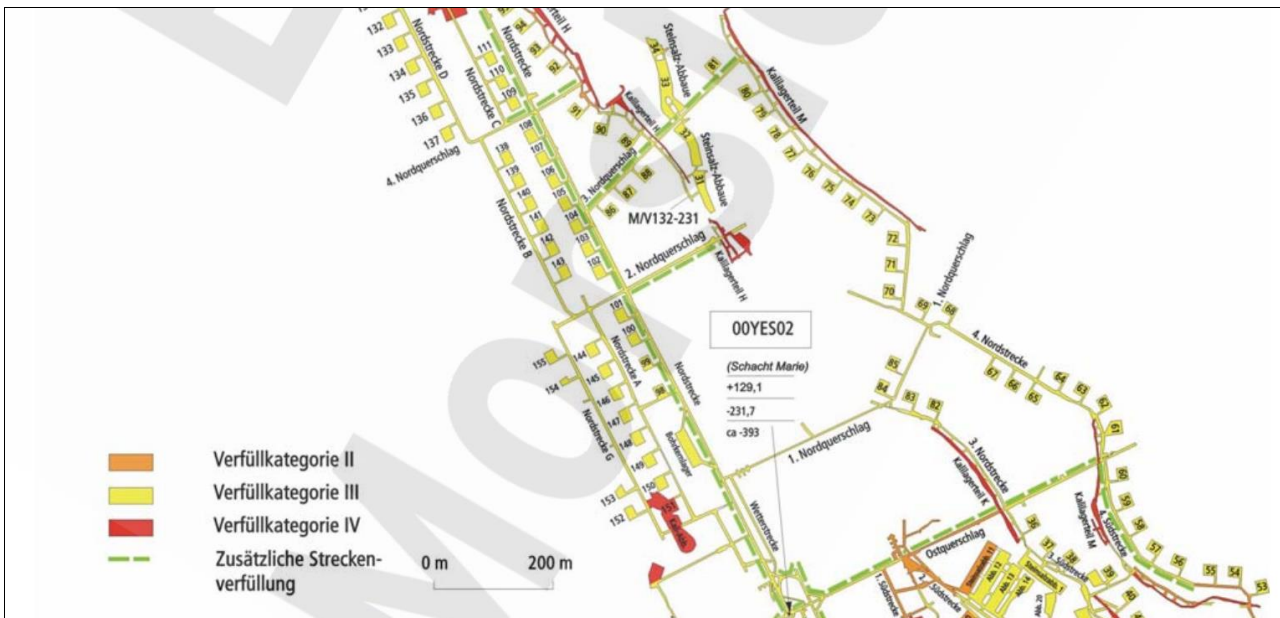


Abbildung 3.2-1: Zusätzliche Streckenverfüllungen in der Grube Marie (Ausschnitt) [P 220]

Auch bei der (abschnittsweise) vollständigen Verfüllung der Nordstecke im **Nordfeld** der Grube Bartensleben auf der 4. Sohle (17YER21 R001) dürften erhöhte Qualitätsanforderungen mit dem Ziel einer hydraulische Trennung im Hinblick auf die Langzeitsicherheit von Vorteil sein. Im Rahmen der Optimierung des Verfüllkonzepts sollte geprüft werden, ob eine hydraulische Trennung zweckmäßig ist bzw. weshalb auf solche Maßnahme verzichtet werden kann (siehe E 6 in Abschnitt 3.2.2.4).

Eine Einschränkung der Fließwege innerhalb der Einlagerungsgrubenbaue der endgelagerten Abfälle ist entweder nicht realisierbar, da diese Grubenbaue schon vollständig verfüllt und abgeworfen sind (Nordfeld, Südfeld und der überwiegende Teil des Westfelds), oder sie wäre wenig effektiv, da die Abfälle mit Salzgrus überschüttet sind (Ostfeld, Zentralteil). Bei den zwischenlagerten Abfällen im UMF und dem Radiumfass besteht die Möglichkeit zur Durchführung von Verfüllmaßnahmen im jeweiligen Einlagerungsgrubenbau zur Einschränkung von Fließwegen.

Die Frage nach der Notwendigkeit einer solchen Verfüllung<sup>19</sup> bzw. (im Fall des Radiumfassess) nach einem alternativen Standort (am östlichen Ende des Ostquerschlags auf der 4. Sohle) ist im Rahmen der Langzeitsicherheitsanalyse zu bewerten. Gemäß [P 220] soll das UMF firstbündig verfüllt werden.

#### Verringerung des hydraulischen Gradienten entlang des Fließwegs

Eine Verringerung des hydraulischen Gradienten entlang des Fließwegs kann dadurch erfolgen, dass die Einschränkung der Fließwege nicht nur an einer, sondern an möglichst vielen Stellen hintereinander erfolgt.

Ein weiterer Effekt, der den hydraulischen Gradienten entlang des Fließwegs verringern kann, ist der Aufbau eines erhöhten Gasdrucks in dem Bereich der Grube, in den die Lösung nicht bzw. nur verzögert eindringen soll. Dieser Effekt ist allerdings nur dann wirksam, wenn es nicht zu einem Abstrom des Gases aus diesem Bereich kommt. Der Aufbau eines erhöhten Gasdrucks ist im Fall des ERAM deshalb im Prinzip in zwei Bereichen vorstellbar: Zum einen kann der Gasdruck in der gesamten Grube erhöht werden, um so den Lösungszutritt aus dem Gebirge in die Grube zu reduzieren. Diese Option wird zur Zeit als temporäre „Notfallmaßnahme“ für die Schachanlage Asse II geprüft. Zum andern kann der Gasdruck in den abgedichteten Einlagerungsbereichen (Ostfeld oder West-/Südfeld) erhöht werden, um den Lösungszutritt über die Abdichtungen in die Einlagerungsbereiche zu verzögern.

Die Erhöhung des Gasdrucks in der gesamten Grube müsste über einen Zeitraum von mehreren tausend Jahren wirksam sein<sup>20</sup>. Das Gas darf in diesem Zeitraum nicht über die Schächte abströmen und auch das Rohr, über das die Gaszufuhr erfolgen würde, müsste nach Aufbau des Gasdrucks dauerhaft gas- und lösungsdicht verschlossen werden<sup>21</sup>. Auch müsste gewährleistet sein, dass das Gas nicht parallel zu einem Grubenwasserzutritt an anderer Stelle (bzw. an der gleichen Stelle aber auf parallelen Fließwegen) in das Gebirge übertreten kann. Weiterhin besteht bei dieser Variante die Möglichkeit, dass der Gasdruck im Szenario einer trockenen Grube zu einem früheren Zeitpunkt den Gebirgsdruck überschreitet einschließlich der damit verbundenen Ungewissheiten bzgl. einer Ausbildung von Wegsamkeiten für Fluide.

Neben einer gezielten Erhöhung des Gasdrucks in der ganzen Grube besteht auch die prinzipielle Möglichkeit, den Gasdruck lediglich in den Einlagerungsbereichen nach ihrer Abdichtung zu erhöhen.

<sup>19</sup> Die im UMF gelagerten Radionuklide Co-60 ( $T_{1/2} = 5,27$  a), Cs-137 ( $T_{1/2} = 30,17$  a), Eu-152 ( $T_{1/2} = 13,52$  a), Eu-154 ( $T_{1/2} = 8,59$  a) und Eu-155 ( $T_{1/2} = 4,76$  a) sind so kurzlebig, dass sie nach ca. 980 Jahren bis auf die Freigrenzen zerfallen sind (Cs-137 ist hier bestimmend). Ein Radionuklidaustrag aus dem Endlager ist in diesem Zeitraum lediglich für ein Szenario mit menschlichem Eindringen vorstellbar.

<sup>20</sup> Im Gegensatz hierzu sieht die für die Schachanlage Asse II diskutierte Option eine Erhöhung des Gasdrucks nur für einen auf wenige Jahre begrenzten Zeitraum, in dem das Bergwerk bei der Gefahr eines Absaufens kontrolliert mit  $MgCl_2$ -Lösung geflutet würde, vor.

<sup>21</sup> Wir unterstellen hier, dass keine Verbindungen zwischen der Grube und übertägigen Erkundungsbohrungen bestehen. Für diese Annahme spricht, dass andernfalls in der Grube Lösungszutritte beobachtet werden müssten.

Eine externe Gaszufuhr in die Einlagerungsbereiche nach Abwerfen der Grube bedeutet eine (lokale) Schwächung der geologischen Barriere, was grundsätzlich vermieden werden sollte. Auf andere Weise kann der Gasdruck in den Einlagerungsbereichen prinzipiell durch

- die Einlagerung zusätzlicher gasbildender Stoffe oder gasfreisetzender Behälter in den Einlagerungsbereichen,
- eine weitergehende Verfüllung der Einlagerungsbereiche zur Verkleinerung des dortigen Hohlraums und
- Maßnahmen zur Beschleunigung der Gasbildung aus den schon eingelagerten Materialien

erhöht werden. Die Wirksamkeit solcher Maßnahmen ist jedoch ungewiss, da unklar ist, in welchem Umfang insbesondere die Abdichtungen auf den oberen Sohlen gasdicht sind. Auch bei dieser Variante besteht die Möglichkeit, dass der Gasdruck im Szenario einer trockenen Grube zu einem früheren Zeitpunkt (im Bereich des Einlagerungsbereichs) den Gebirgsdruck überschreitet einschließlich der damit verbundenen Ungewissheiten bzgl. einer Ausbildung von Wegsamkeiten für Fluide. Gegen die Einlagerung zusätzlicher gasbildender Stoffe spricht weiterhin, dass die Gasbildung zu einem späteren Zeitpunkt (d. h. nach Beginn der Auspressphase) zu einer Erhöhung der Auspressrate kontaminierter Lösung aus der Grube führen kann.

Eindeutig von Vorteil sind Maßnahmen, die die kurz- und mittelfristige Gasbildung (d. h. die Gasbildung in den ersten Jahrtausenden) aus den schon eingelagerten Abfällen beschleunigen. Zum einen kann sich hierdurch – im ungünstigen Fall gasdichter Abdichtungen – in der Phase des Lösungszutritts der Druckaufbau in den ELB erhöhen und zum anderen verringert sich die Auspressung kontaminierter Lösung aus dem ELB durch Gasbildung in der Auspressphase. Die kurz- und mittelfristige Gasbildung wird durch die Korrosion von Metall dominiert, die langfristige durch die Umsetzung organischen Materials. Von Vorteil sind deshalb Maßnahmen zur Beschleunigung der Korrosion der schon eingelagerten Metalle. Die einzige Maßnahme, die nach unserer Einschätzung hierzu zur Verfügung stehen könnte, ist die Befeuchtung der Abfälle mit (salzgesättigter) Lösung<sup>22</sup>. Dies müsste aber so realisiert werden, dass es nicht zu einem Durchspülen der Abfälle und einem (signifikanten) Austrag von Radionuklide führt (s. u.).

Im Ostfeld führt die vorgesehene Verfüllung mit Salzbeton und insbesondere die Verfüllung des Abbaus 2 zu einem gewissen Flüssigkeitseintrag. Hier könnte geprüft werden, den Salzbeton in Abbau 2 mit einem etwas erhöhten Wassergehalt einzubringen. Allerdings sind die Abdichtungen zum Ostfeld so lang, dass die Phase des Volllaufens im Ostfeld die Zeitdauer der Metallkorrosion deutlich übersteigen dürfte – eine gewisse Wirksamkeit der Abdichtung vorausgesetzt. Wir halten es deswegen für unwahrscheinlich, dass ein zusätzliches gezieltes Befeuchten der Abfälle im Ostfeld mit einem signifikanten Effekt hinsichtlich des grundwassergetragenen Radionuklidaustrags verbunden ist.

Im Westfeld müsste eine nachträgliche Befeuchtung der radioaktiven Abfälle nach dem Bau der Abdichtungen auf der 4. Sohle von der 3. Sohle aus erfolgen. Beispielsweise könnte die 4. Sohle des Westfelds von der 3. Sohle aus über eine Bohrung teilweise oder vollständig geflutet werden.

---

<sup>22</sup> Wir halten es für wahrscheinlich, dass die Korrosion von Metallen bei Anwesenheit salzgesättigter Lösung schneller abläuft als im trockenen Zustand, insbesondere, wenn die Fässer wie im Westfeld mit BFA überschüttet sind und keinen direkten Kontakt mit Salzgrus haben.



Anders als bei einem unkontrollierten Volllaufen zu einem späteren Zeitpunkt könnte hierbei auch Einfluss auf die Zusammensetzung der zulaufenden Lösung genommen werden. Wir sehen es daher als erforderlich an, dass im Hinblick auf die Optimierung des Verfüllkonzepts dargelegt wird, ob eine Einleitung von Salzlösung auf die 4. Sohle des Westfelds von Vorteil wäre bzw. mit welchen Nachteilen sie verbunden wäre. In diesem Zusammenhang wären folgende Aspekte zu untersuchen:

- Ermittlung der Korrosionsrate von Metallen unter den gegenwärtig geplanten Bedingungen im Westfeld („trockener Zustand“) und bei Kontakt mit Salzlauge.
- Möglichkeiten und Konsequenzen von Umlöseprozessen und ihre Auswirkungen auf die Wirksamkeit der Abdichtungen zwischen Westfeld und Südfeld.
- Technische Realisierung eines Lösungseintrags in die Abfälle.

Die im Südfeld eingelagerte Menge an Metallen (ca. 850 t) ist deutlich geringer als die im Westfeld eingelagerte (ca. 8.100 t), so dass hier zusätzliche Befeuchtungsmaßnahmen kaum relevant sind. Zudem würden in die Einlagerungsgrubenbaue des Südfelds eingeleitete Lösungen in die Unterwerksgrubenbaue abfließen, so dass es zu einem Durchströmen der Abfälle käme, was vermieden werden sollte (siehe Abschnitt 3.2.2.3.2).

Eine vertiefte Analyse der verschiedenen Optionen zur Erhöhung des Gasdrucks bzw. zur vorzeitigen Gasbildung in der Grube geht über den Rahmen dieses Gutachtens hinaus. Wir empfehlen jedoch, dass eine solche Analyse bei der Auswahl der Vorzugsoption durchgeführt und dokumentiert wird<sup>23</sup> (siehe dazu E 6, Abschnitt 3.2.2.4).

#### 3.2.2.3.2. Reduzierung der Mobilisierung der Schadstoffe aus den Abfällen

Die Mobilisierung von Schadstoffen ist dann eingeschränkt, wenn in den lösungsgesättigten Abfällen ein geochemisches Milieu herrscht, das für eine Mobilisierung ungünstig ist, oder/und wenn die Menge der mit den Abfällen in unmittelbaren Kontakt kommenden Lösung gering ist. Bei Schadstoffen, deren Freisetzung löslichkeitsbegrenzt ist oder die an den Abfällen oder anderen Verfüllmaterialien in den Einlagerungskammern sorbieren, sinkt die Mobilisierung mit der Menge an Lösung, die mit den Abfällen in Kontakt kommt.

#### Beeinflussung des chemischen Milieus

Aufgrund der großen Menge an eingelagerten Abfällen und der fehlenden Zugänglichkeit (die Einlagerung der radioaktiven Abfälle ist abgeschlossen und die Abfälle sind schon mit Braunkohlefilteraschen und Salzgrus überschüttet worden) sind Maßnahmen zur Beeinflussung des chemischen Milieus in den Abfällen kaum praktikabel. Lediglich im **Ostfeld** ist die Einlagerung von chemisch aktiven Stoffen oberhalb der Salzgrusüberschüttung durchführbar. Ein direkter Kontakt mit den Abfällen ist jedoch auch hier nicht möglich. Grundsätzlich sind ein niedriges Redoxpotential und neutrale bis alkalische pH-Werte für eine Stoffrückhaltung günstig. Die in den Abfällen enthaltenen Metalle und die zur Überschüttung der Abfälle verwendete Braunkohlefilterasche fördern die

<sup>23</sup> Die Erzeugung eines stützenden Gasdrucks sowie die Einleitung von  $MgCl_2$ -Lösung wird vom BfS (wenn auch zu einem anderen Zweck und unter anderen Randbedingungen) als mögliche Notfallmaßnahmen bei der Stilllegung der Schachanlage Asse II angegeben. Wir empfehlen, diese Optionen auch im Zusammenhang mit der Stilllegung des ERAM zu thematisieren, um im Hinblick auf öffentliche Diskussionen Ansatzpunkte bzgl. einer etwaigen Unvollständigkeit von Alternativenbetrachtungen zu vermeiden.

Einstellung eines solchen Milieus. Die CO<sub>2</sub>-Freisetzung durch das Zersetzen organischer Verbindungen führt dagegen zur Bildung von Kohlensäure und kann den pH-Wert absenken. In [P 278] werden bei vollständigem Zersetzen der organischen Stoffe pH-Werte von 4,2 für das Westfeld und 4,3 für das Ostfeld berechnet. Dem könnte durch ein CO<sub>2</sub>-bindendes Material (z. B. CaO oder MgO) entgegengewirkt werden. Die zur Bindung und Neutralisierung des CO<sub>2</sub> benötigte Materialmenge sollte ermittelt werden und der Nutzen und die Kosten ihrer Einlagerung in das Ostfeld sollte abgeschätzt werden (siehe E 6 in Abschnitt 3.2.2.4).

Aufgrund der großen Mengen an Eisen in den Abfällen ist sichergestellt, dass sich schon vor Beginn der Auspressphase (und damit vor einem Auspressen von kontaminierter Lösung aus den Abfällen) in den Abfällen ein niedriger Eh-Wert eingestellt hat.

#### Reduzierung des Porenraums

Bei einem Lösungszutritt zu den Abfällen lässt es sich nicht vermeiden, dass der Porenraum der Abfälle lösungsgesättigt wird. Da die Einlagerung der Abfälle abgeschlossen ist und die Abfälle überschüttet sind, beschränken sich mögliche Maßnahmen zur Reduzierung des Porenraums auf ein Injizieren und auf ein Kompaktieren der Abfälle durch Aufbringen von Lasten über den Abfällen. Ein Injizieren wäre mit einem Anbohren der Abfälle verbunden und aufgrund der geringen Reichweite des Injektionsmittels wäre eine Vielzahl von Bohrungen erforderlich. Die Maßnahme wäre deshalb sehr zeit- und kostenaufwändig, insbesondere wenn Schutzmaßnahmen gegen eine Freisetzung von Radioaktivität aus den Abfällen ergriffen würden. Wir schätzen eine solche Injektion deshalb als nicht praktikabel ein. Das Aufbringen von Auflast auf die (schon mit Salzgrus überschütteten) Abfälle ist lediglich im **Ostfeld** möglich und würde im Rahmen der vorgesehenen Verfüllung des Abbaus 2 mit Salzbeton auch erfolgen<sup>24</sup>.

#### Minimierung von Konvektionsströmen

Da die Abfälle und die mit den Abfällen eingelagerte BFA mit der Salzlösung chemisch reagieren, ist es möglich, dass sich die Dichte der Salzlösung verändert und sich in dem Einlagerungsgrubenbau dichtegetriebene Konvektionsströme einstellen. Eine Verfüllung der Einlagerungskammer mit gering permeablem Material würde zu einer Minimierung von solchen Konvektionsströmen führen. Dies ist jedoch nur noch für den Einlagerungsgrubenbau im **Ostfeld** (Abbau 2) möglich. Vom BfS ist dessen Verfüllung mit Salzbeton vorgesehen, der eine geringe Permeabilität aufweist und daher zur Minimierung der Konvektionsströme im Ostfeld beiträgt.

#### Behinderung der Durchströmung

Die Menge der mit den Abfällen in unmittelbarem Kontakt kommenden Lösung kann auch dadurch reduziert werden, dass ein Porenwasseraustausch in den Abfällen behindert wird. Hierzu müsste die Durchströmung der Abfälle behindert werden. Bei Abfällen, die in einem „toten Ende“ der Grube eingelagert sind und nicht von offenen Hohlräumen umgeben sind, ist dies gewährleistet. Bei Abfällen in Einlagerungsgrubenbauen, die von anderen Grubenbauen umgeben sind, kann eine Behinderung der Durchströmung prinzipiell dadurch erfolgen, dass der Zufluss zum bzw. der Abfluss vom Einlagerungsgrubenbau behindert wird oder/und alternative Fließwege um die Einlagerungsgrubenbaue herum bestehen, über die ein Volllaufen bzw. Entleeren der umgebenden

<sup>24</sup> Ob dies zu einer Zerstörung der Gebinde und in der Folge einer Kompaktion der Abfälle führt, können wir nicht einschätzen.

Grubenbaue erfolgen kann. Da die Abfälle und die Braunkohlefilteraschen mit den zutretenden Lösungen reagieren werden, kann sich deren Dichte ändern. Hierdurch unterstützte Konvektionsströmungen sowie Diffusionsprozesse können auf Dauer zu einem Stoffaustrag aus dem Einlagerungsgrubenbau in die nähere Umgebung führen. Es ist deshalb von Vorteil, wenn auch diese Umgebung möglichst wenig durchströmt wird.

Das **Ostfeld** als Gesamtheit stellt ein solches „totes Ende“ innerhalb der Grube dar, weist aber nach Abschluss der Verfüllung noch einen lösungszugänglichen Hohlraum von ca. 87.000 m<sup>3</sup> auf. Innerhalb des Ostfelds ist eine kontrollierte hydraulische Trennung des Einlagerungsgrubenbaus Abbau 2 (lösungszugänglicher Hohlraum ca. 8.000 m<sup>3</sup>) von den übrigen Abbauen nicht möglich, allerdings kann eine Randlage des Abbaus 2 relativ zu den verbleibenden Hohlräumen im Ostfeld durch möglichst vollständige Verfüllung der Strecken südlich des Ostquerschlags (insbesondere des Flachen 4) und der Abbaue 1 und 4 auf der 4a-Sohle erreicht werden. Im Verfüllplan sind die Strecken südlich des Ostquerschlags als „Strecken mit zusätzlicher Verfüllung“ ausgewiesen. Für die Abbaue 1 und 4 werden als vorgesehene Verfüllgrade 84 % und 95 % angegeben. Hier sollte eine möglichst vollständige Verfüllung angestrebt werden (siehe E 6 in Abschnitt 3.2.2.4).

Der Standort des **Radiumfasses** kann durch eine vollständige Verfüllung des Ostquerschlags 4. Sohle (17YEQ01/R001) östlich der 1. südlichen Strecke (17YEA62/R001) und eine hydraulisch abdichtende Verfüllung der Rolllöcher in diesem Bereich des Ostquerschlags in ein „totes Ende“ umgewandelt werden. Sofern eine hydraulisch abdichtende Verfüllung der Rolllöcher nicht möglich ist, könnte eine Umlagerung des Radiumfasses in das östliche Ende des Ostquerschlags seine Einlagerung in einem „toten Ende“ ermöglichen (siehe E 6 in Abschnitt 3.2.2.4).

Das **UMF** befindet sich in einem solchen „toten Ende“.

Die Einlagerungsgrubenbaue im **ZT** (4a-Sohle) können nicht in eine Randlage umgewandelt werden. Allerdings ist das hier abgelagerte Radionuklidinventar so gering, dass zusätzliche Schutzmaßnahmen nicht erforderlich sind.

Die Einlagerungskammern (ELK) im **Nordfeld** liegen am Ende der Nordstrecke 4. Sohle (17YER21/R001) in einer Randlage. Eine Durchströmung der ELK kann dennoch nicht vollständig ausgeschlossen werden:

- Bei der ELK „Nordstrecke“ kann nach [I 418] nicht ausgeschlossen werden, dass die von dieser ELK aus gestoßene Erkundungsbohrung 17YER21/RB010 eine hydraulische Verbindung zur 500 m Sohle der Grube Marie hat.
- In der ELK „Nordstrecke“ befinden sich zwei nicht abgedichtete Rolllöcher (Rollloch 14YER22/RL006 zur 3. Sohle und ein Rollloch des Rolllochsystems 15YER22/RL007 zum darüber liegenden Abbau 4 (bei ca. -349 mNN)).
- In der ELK „nordöstlicher Querschlag“ befindet sich ein nicht abgedichtetes Rollloch (ein Rollloch des Rolllochsystems 09YER21/RL008 zum darüber liegenden Abbau 5 (bei ca. -359 mNN)).
- Unmittelbar vor den Abmauerungen der ELK befinden sich weitere Rolllöcher zu den Abbauen 4 und 5.

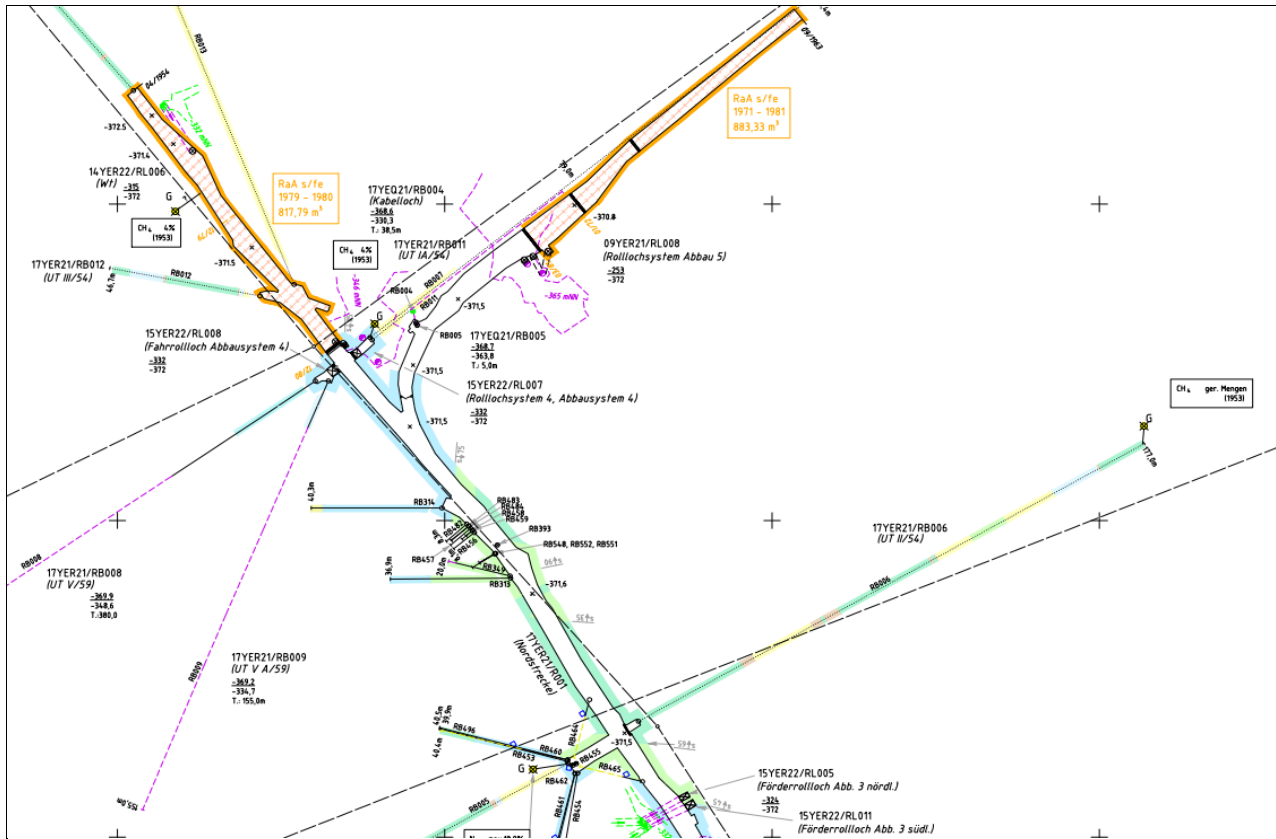


Abbildung 3.2-2: Nordstecke im Bereich der Einlagerungsgrubenbaue

Um eine Randlage zu erzeugen, müssten entweder die Nordstrecke auf der 4. Sohle nördlich des Förderrolllochs Abbau 3 nördlich (15YER22/RL005) oder die Rolllöcher der Abbausysteme 4 und 5 hydraulisch abgedichtet werden (s. Abbildung 3.2-2). Wir verweisen auf E 6 in Kapitel 3.2.2.4.

Das **Südfeld** weist mit ca. 490.000 m<sup>3</sup> den größten lösungszugänglichen Hohlraum aller Einlagerungsbereiche auf. Von diesen befinden sich ca. 50.000 m<sup>3</sup> in den Einlagerungsgrubenbauen auf der 5a-Sohle. Die Einlagerungsgrubenbaue liegen etwas abseits der dominierenden Hohlräume in den Steinsalzabbauen und Kalilagern. Es gibt jedoch einige Sachverhalte, die sich ungünstig hinsichtlich einer Durchströmung der Einlagerungsgrubenbaue und ihrer unmittelbaren Umgebung auswirken können:

- Die Modellrechnungen im Rahmen der LSA weisen aus, dass die Abdichtung auf der 4. Sohle zum Südfeld als erstes versagt, so dass das Volllaufen des Südfelds über diese Sohle erfolgt.
- Unmittelbar hinter der Abdichtung auf der 4. Sohle befindet sich das Rollloch 17YEQ01/RL001 zur -420 mNN-Sohle und etwas weiter das B-Gesenk 2B, ebenfalls mit Anschluss an die Unterwerksgrubenbaue (s. Abbildung 3.2-3).
- Anders als im Verwahrkonzept von 1984 für das EREAM vorgesehen sollen die Unterwerksgrubenbaue nach den Planungen des BfS nicht verfüllt werden. Sie haben Anschluss an die Einlagerungsgrubenbaue.

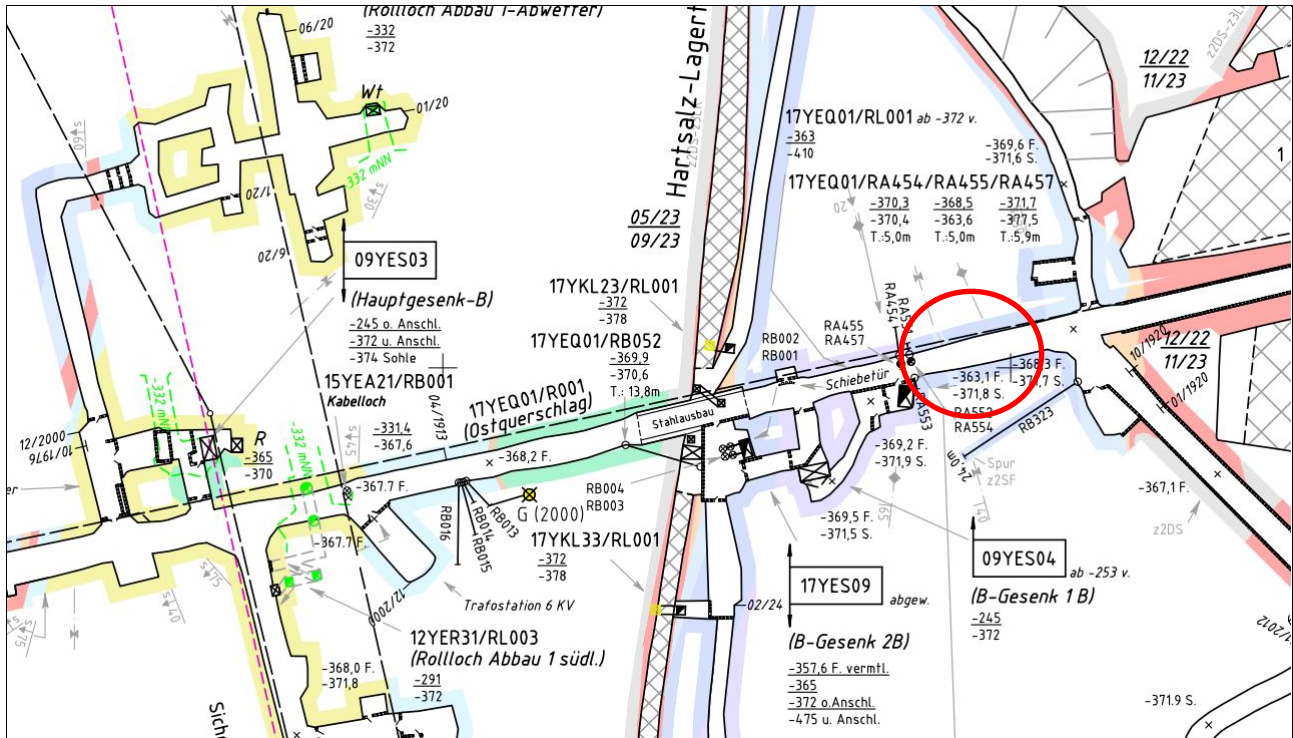


Abbildung 3.2-3: Umfeld der Abdichtung zum Südfeld (roter Kreis) im Ostquerschlag auf der 4. Sohle (-372 mNN)

- Oberhalb der Einlagerungsgrubenbaue verläuft die Südstrecke 17YER31/R001 und die mit der Südstrecke verbundene Versturzstrecke 17YEA33/R001, die mit einer Vielzahl vertikaler Verbindungen mit den Einlagerungsgrubenbauen verbunden sind (s. Abbildungen 3.2-4 und 3.2-5).
- Die Südstrecke 17YER31/R001 scheint über Bohrungen und möglicherweise auch über Wegsamkeiten im aufgelockerten Salzgestein mit Steinsalzabbauen der 4a-Sohle hydraulisch verbunden zu sein<sup>25</sup>. Die bestehenden Verhältnisse können dem Risswerk und dem Visualisierungswerkzeug ERAM SYS (Version 1.5a01) nicht eindeutig entnommen werden (siehe Abbildungen 3.2-4 und 3.2-5).

Damit das Volllaufen des Südfelds nicht über diesen Fließweg erfolgt und mit einem Durchströmen der Einlagerungsgrubenbaue verbunden ist, müsste entweder der geschilderte Fließweg eingeschränkt werden oder/und es müssen alternative Fließwege bestehen. Nach [P 220] Kapitel 5 ist für die Strecken und Funktionsräume auf der 4. Sohle des Südfelds eine Verfüllung „mit weitgehender Firstanbindung“ vorgesehen. Ob dies eine ausreichende Einschränkung des Fließwegs darstellt, kann auf der Basis der vorliegenden Unterlagen nicht eingeschätzt werden.

<sup>25</sup> Es handelt sich hierbei um Abbau 9 südlich (16YEA32/R003), Abbau 9 nördlich (16YEA32/R002) und evtl. auch Abbau 8 südlich (16YEA31/R003).

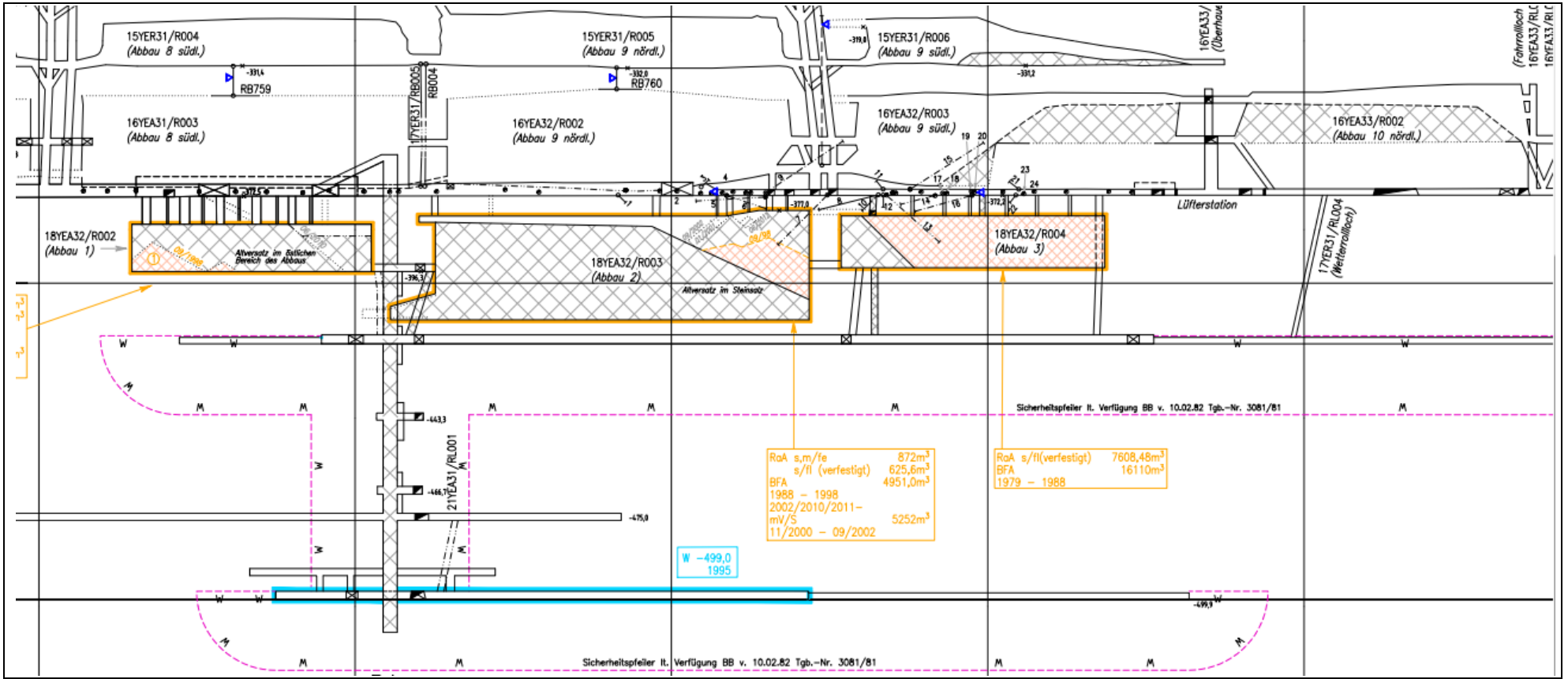


Abbildung 3.2-4: Schnitt durch die Einlagerungsgrubenbaue im Südfeld

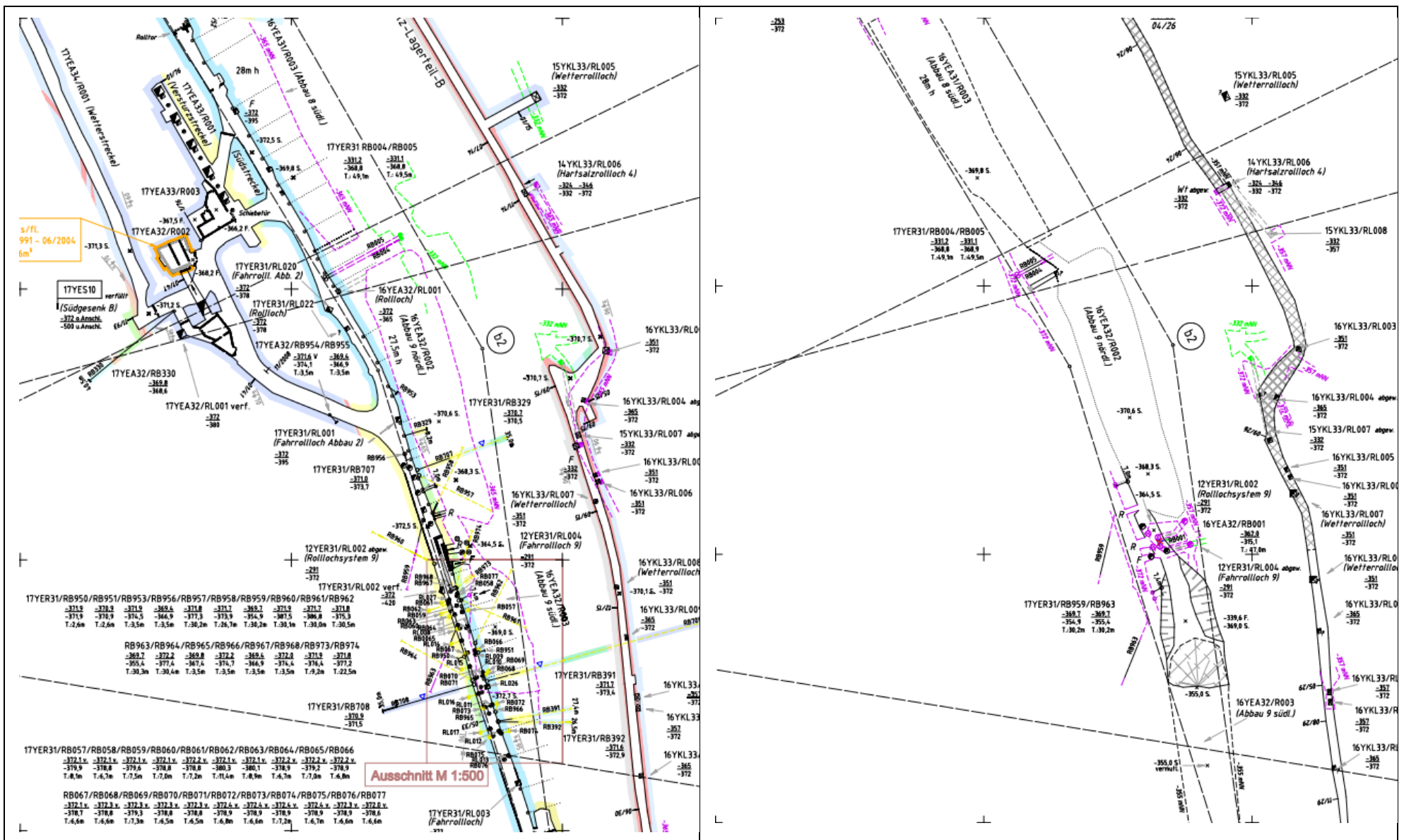


Abbildung 3.2-5: Bereich der Einlagerungsgrubenbaue im Südfeld, -372 mNN-Sohle (links) und -365 mNN-Sohle (rechts)

Wir kommen zu der Empfehlung:

**E 3: Vom BfS sollte eine detaillierte Darstellung der bergbaulichen Gegebenheiten im Bereich der Einlagerungsgrubenbaue des Südfelds vorgelegt werden. Es sollten die bekannten und vermuteten Verbindungen**

- von den Einlagerungsgrubenbauen zur Südstrecke (17YER31/R001),
- von der Südstrecke zu den Abbauen der 4a-Sohle (8n, 8s, 9n, 9s) und
- von den Einlagerungsgrubenbauen zu den Abbauen der 4a-Sohle (8n, 8s, 9n, 9s) angegeben werden.

Ein möglicher alternativer Fließweg wäre das B-Gesenk 1B (09YES04), das sich ebenfalls unmittelbar hinter der Abdichtung auf der 4. Sohle befindet und Anschluss an die höheren Sohlen hat. Allerdings ist dieses Gesenk entsprechend dem Risswerk unterhalb -253 mNN verfüllt (siehe Abbildung 3.2-3)<sup>26</sup>.

**E 4: Vom BfS sollte eine detaillierte Darstellung zur Verwahrung und zum Zustand des B-Gesenks 1B (09YES04) vorgelegt werden.**

Das **Westfeld** liegt in einer Randlage. Aufgrund der vorgesehenen Abdichtung in den Stecken *Richtstrecke nach Süden* und *Störreservelager* zwischen Westfeld und Südfeld wird zudem verhindert, dass es zu einem verstärkten Lösungsfluss in der Nähe der Abfälle kommt.

#### 3.2.2.3.3. Chemisch bedingte Rückhaltung von Schadstoffen

Eine chemisch bedingte Rückhaltung von einmal mobilisierten Schadstoffen kann dadurch erfolgen, dass die Stoffe in der Grube wieder aus- oder mitgefällt werden oder dass sie sorbieren. Ein Aus- oder Mitfällen kann nur durch Änderungen im chemischen Milieu entlang des Fließwegs erfolgen. Die Sorption von Stoffen ist abhängig von Art und Menge der entlang des Fließwegs zur Verfügung stehenden sorbierenden Materialien und vom chemischen Milieu.

Maßnahmen zur Veränderung des chemischen Milieus oder zur Erhöhung der Sorptionsplätze entlang des Fließwegs sind mit folgenden grundsätzlichen Schwierigkeiten verbunden:

- Es besteht ein Interessenskonflikt zwischen der Einschränkung von Fließwegen (durch Behinderung der Lösungszutritte zu den Abfällen) und ihrer Beibehaltung zum Zweck der Beeinflussung der fließenden Lösungen.
- Die Fließwege kontaminierter Lösung in der Auspressphase sind i. d. R. nicht sicher prognostizierbar, so dass entweder an vielen Stellen solche Maßnahmen durchgeführt werden müssten oder es unsicher ist, ob die Maßnahme wirkt.
- Das Stilllegungskonzept sieht vor, den Grundwasserfluss zwischen den möglichen Lösungszutrittsstellen und den Einlagerungsbereichen durch eine weitgehende Verfüllung von Strecken zu behindern. Hierdurch wird unterstützt, dass der Lösungsfluss über heute nicht mehr zugängliche Bereiche (z. B. mit Salzgrus verfüllte Grubenbaue) erfolgt.

---

<sup>26</sup> Die Eintragung im Risswerk lautet „ab -253 verf.“.

Die Fließwege kontaminierter Lösungen aus dem **Südfeld**, **Westfeld** und **Ostfeld** sind lediglich im Bereich der vorgesehenen Streckenabdichtungen sicher prognostizierbar. Maßnahmen zur chemisch bedingten Rückhaltung von Schadstoffen konkurrieren hier deshalb (bzgl. des verfügbaren Volumens) mit den Abdichtmaßnahmen. Passive Maßnahmen zur Beeinflussung des chemischen Milieus und in der Folge zum Erzwingen von (Mit-)Fällungen benötigen große Stoffspeicher. Ihr Nutzen ist aufgrund der Ungewissheiten bzgl. des chemischen Milieus in der Grube und der Gefahr einer Inertisierung der Reaktanten (z. B. durch Oberflächenablagerungen) kaum prognostizierbar. Sie scheiden deshalb nach unserer Einschätzung bei der Stilllegung des ERAM aus. Maßnahmen zur Bereitstellung von zusätzlichen Sorptionsplätzen erfordern weniger Volumen, sind zuverlässiger prognostizierbar und können bei Bedarf auch als abdichtendes Element realisiert werden (Bentonit). Sie können im Einzelfall deshalb eine sinnvolle Ergänzung darstellen.

Die Fließwege kontaminierter Lösungen aus den Einlagerungskammern im **Nordfeld** sind im Nahbereich der Einlagerungskammern eingeschränkt prognostizierbar. Entsprechend den Ausführungen in Kapitel 3.2.2.3.2 bestehen die folgenden Abflussmöglichkeiten:

- Abfluss über Nordstecke 4. Sohle (17YER21/R001) nördlich von Förderrolloch Abbau 3 nördlich (15YER22/ RL005)<sup>27</sup>. Ab dem Förderrolloch ist der Fließweg unklar.
- Abfluss über verschiedene Rolllöcher zur den darüber liegenden Sohlen 4a und 3.
- Abfluss über die Erkundungsbohrung 17YER21/RB010 zur 500 m Sohle Marie, der vom BfS nicht ausgeschlossen wird.

Auch hier scheiden nach unserer Einschätzung passive Maßnahmen zur Beeinflussung des chemischen Milieus aus den o. g. Gründen aus. Allerdings könnte in die Nordstrecke oder/und in die verschiedenen Rolllöcher ein Granulat aus Ton mit hohem Sorptionsvermögen eingebracht werden. Wenn gleichzeitig eine Abdichtung der Nordstrecke zur Minimierung der Durchströmung dieses Bereichs durchgeführt wird, können auch schon vergleichsweise geringe Tonmengen ausreichen, um den Schadstoff von ca. 1.100 m<sup>3</sup> kontaminierter Lösung (dem lösungszugänglichen Hohlraumvolumen des Einlagerungsbereichs Nordfeld) signifikant zurückzuhalten. Allerdings ist diese Maßnahme nur dann sinnvoll, wenn alle Rolllöcher für eine Verfüllung zugänglich sind. Würde nur ein Teil der Rolllöcher verfüllt, würde sich nur deren Wasserwegsamkeit verringern und die kontaminierte Lösung ggf. über die nicht verfüllten Bohrlöcher abfließen.

Vom BfS ist nicht vorgesehen, die chemisch bedingte Rückhaltung von Schadstoffen im Fall eines Volllaufens der Grube durch zusätzliche Maßnahmen gezielt zu beeinflussen. Das BfS erwartet, dass das Einbringen von Salzbeton in die Grube die Sorption im Fall eines Volllaufens verstärkt, da mit dem Salzbeton auch zusätzliche Sorptionsplätze eingebracht werden. Es bringt diesen Effekt jedoch – mit zwei Ausnahmen<sup>28</sup> – in den LSA [P 277, P 278] nicht zum Ansatz und berücksichtigt diesen Effekt auch nicht bei der Festlegung von Art und Menge der Verfüllstoffe.

Wir empfehlen, den Einsatz von Bentonit als ein Element der Abdichtung zum Ostfeld und im Rahmen einer Abdichtung der Nordstrecke auf der 4. Sohle zu prüfen (siehe E 6 in Abschnitt 3.2.2.4).

<sup>27</sup> Die Nordstrecke verläuft in diesem Abschnitt zu großen Teilen in Anhydrit.

<sup>28</sup> In den LSA [277] und [P 278] wird in Ansatz gebracht, dass entstehendes C<sup>14</sup>O<sub>2</sub> im Salzbeton als Carbonat gebunden wird. Weiterhin wird für das Ostfeld die Sorption von Ra-226 aus dem Radiumfass an Salzbeton unterstellt.



#### 3.2.2.3.4. Rückhaltung/Speicherung kontaminierter Lösung in der Grube

Kommt es zu einem Volllaufen der Grube und wird in der Folge radionuklidhaltige Lösung aus einem Einlagerungsbereich ausgepresst, kann eine Verzögerung des Radionuklidaustrags aus der Grube dadurch erreicht werden, dass die Verweilzeit der kontaminierten Lösung in der Grube erhöht wird. Dies kann prinzipiell auf zwei Arten erfolgen:

- Der Hohlraum des Fließweges der kontaminierten Lösung wird maximiert.
- Der Fluss durch diesen Hohlraum wird minimiert, indem versucht wird, Lösungsabflüsse aus anderen Teilen der Grube als den Einlagerungsgrubenbauen von diesem Hohlraum fernzuhalten.

Die Bereitstellung des Hohlräume kann dadurch erfolgen, dass Grubenbaue entlang des Fließweges der kontaminierten Lösung nicht verfüllt werden. Aufgrund von Konvergenz und Verbrauch wirkt diese Art der Hohlräumebereitstellung nur temporär und die Abschätzung ihrer Wirkung ist mit großen Ungewissheiten verbunden. Die Standsicherheit und Prognostizierbarkeit kann dadurch erhöht werden, dass der Hohlraum mit langzeitbeständigem stützendem porösem und gut lösungszugänglichem Material wie Schotter oder Kies verfüllt wird. Allerdings verringert sich hierdurch der Hohlraum um das Volumen des Schottergesteins.

Im Auftrag des BfS wurde in [I 79] für das Südfeld und das Westfeld ein Stilllegungskonzept untersucht, das auf diesem Prinzip aufbaut („Porenspeicherkonzept“). Für das Südfeld sah das Konzept die hydraulische Trennung der Einlagerungsgrubenbaue von den übrigen Grubenbauen des Südfelds mittels Abdichtungen vor. Beide Teile des Südfelds würden danach mittels (separater) neu aufzufahrender schottergefüllter Auffahrungen an die Restgrube angeschlossen werden. Die Anbindung der Einlagerungsgrubenbaue an die Verbindungsstrecke zur Restgrube („Verzögerungsstrecke“) würde mittels Bohrungen in das Höchste der Abbaue erfolgen. Die Verzögerungsstrecke hätte zwei Funktionen: Zum einen soll sie das entstehende Gas abführen, um so die ausgepresste Lösungsmenge zu verringern. Zum anderen soll sie den Abfluss der kontaminierten Lösung in die Restgrube um ca. 10.000 Jahre verzögern. Hierzu wurde in [I 79] ein erforderliches Porenvolumen in der Strecke von ca. 9.000 m<sup>3</sup> bzw. eine erforderliche Streckenlänge von ca. 1.100 m abgeschätzt<sup>29</sup>. Die Verbindung zwischen den übrigen Grubenbauen des Südfelds und der Restgrube sollte teils über bestehende Auffahrungen und teils über eine neu aufzufahrende Strecke („Schotterstecke“) erfolgen. Hierdurch sollte erreicht werden, dass die Lösung aus diesem Teil des Südfelds direkt und nicht über die Einlagerungsgrubenbaue in die Restgrube abfließt. Das Konzept sah weitere bauliche Elemente vor, um das Entstehen von Wasserwegen zwischen den beiden Teilen des Südfelds durch Umlöseprozesse zu vermeiden, dichtegetriebene Konvektionsströme und Radionuklidausträge durch die Verzögerungsstrecke zu behindern und ein Verstopfen der Verbindungsstrecken durch Salzausfällungen zu verhindern.

Für das Westfeld sah das Konzept die Abdichtung gegen das Südfeld, die Herstellung einer schottergefüllten Verzögerungsstrecke zwischen Westfeld und Restgrube sowie den Anschluss des Westfelds mittels Bohrungen an die Verzögerungsstrecke vor. Auch hier sollte die Verzögerungsstrecke zur Abführung der entstehenden Gase und zur Verzögerung des Übertritts der ausgepressten Lösung in die Restgrube um ca. 10.000 Jahre dienen. Hierzu wurde in [I 79] ein erforderliches Poren-

<sup>29</sup> Es wurden ein Streckenquerschnitt von 20 m<sup>2</sup> und eine Porosität des Schotters von 40 % unterstellt.

volumen in der Strecke von ca. 12.000 m<sup>3</sup> bzw. eine erforderliche Streckenlänge von ca. 1.500 m abgeschätzt.

In [I 79] wird die Möglichkeit zur Realisierung des Porenspeicherkonzepts positiv eingeschätzt. Entsprechend [A 280] wurde das Porenspeicherkonzept später aber „wegen bestehender Realisierungsrisiken und sich abzeichnender Probleme in der Nachweisführung“ verworfen.

Das beschriebene Porenspeicherkonzept sieht die kontrollierte hydraulische Anbindung von Einlagerungsgrubenbauten an die Restgrube vor und steht damit in Konkurrenz zum Konzept der Behinderung des Lösungszutritts. Um es zu verwerfen, muss eine der folgenden Bedingungen erfüllt sein:

- Eine Gegenüberstellung der Realisierungsrisiken von Porenspeicherkonzept und Abdichtungskonzept bestätigt, dass die Realisierungsrisiken des Porenspeicherkonzepts deutlich über denen des Abdichtkonzepts liegen.
- Eine Gegenüberstellung der Konsequenzen von Porenspeicherkonzept und Abdichtungskonzept zeigt, dass das Abdichtkonzept zu günstigeren Ergebnissen führt (bei sonst gleichen Modellannahmen).

Eine solche Gegenüberstellung liegt gegenwärtig nicht vor. In [A 280] wird lediglich die oben zitierte Einschätzung ohne weitere Ausführung angegeben. Wir empfehlen deshalb:

#### **E 5: Zur Begründung des Verwerfens des Porenspeicherkonzepts sollte vom BfS**

- **entweder eine Erläuterung und Gegenüberstellung der Realisierungsrisiken von Porenspeicherkonzept und Abdichtungskonzept vorgelegt werden, die zeigt, dass die Realisierungsrisiken des Porenspeicherkonzepts deutlich über denen des Abdichtkonzepts liegen,**
- **oder eine Gegenüberstellung der Konsequenzen von Porenspeicherkonzept und Abdichtungskonzept vorgelegt werden, die zeigt, dass das Abdichtkonzept (bei sonst gleichen Modellannahmen) zu günstigeren Ergebnissen führt.**

Auch wenn das Porenspeicherkonzept aus [I 79] verworfen werden muss, schließt dies nicht aus, dass lokal eine gezielte Speicherung kontaminierter Lösung von Vorteil ist. Allerdings steht auch eine solche lokale Speicherung lokal in Konkurrenz zur Behinderung des Lösungszutritts. Eine Abwägung zwischen (lokaler) Einschränkung des Fließweges gegenüber einer Speicherung von kontaminierter Lösung wird dadurch erschwert, dass die Fließwege in der verfüllten und konvergierenden Grube nicht bzw. nur mit sehr großer Ungewissheit prognostiziert werden können. Es ist offen,

- wie effektiv die Streckenverfüllungen (außerhalb der Abdichtungen) sind,
- wie sich ihre effektive Permeabilität (dominiert durch die Kontaktzone Verfüllung/Gebirge) aufgrund der Konvergenz mit der Zeit ändert,
- wie schnell sie chemisch zersetzt werden und wie sich hierdurch ihre Permeabilität und ihr lösungszugänglicher Porenraum verändern,
- ob bzw. wie die der Verfüllkategorie III zugeordneten Rolllöcher und Bohrungen im Einzelnen verwahrt werden und

- in welchem Umfang (und mit welcher Geometrie) Umlöseprozesse in den Kalilagern erfolgen.

Wir erwarten deshalb, dass eine lokationsspezifische Abwägung zwischen (abdichtender) Verfüllung und fließwegerhaltender Verfüllung häufig nicht möglich sein wird. Allerdings sehen wir die Möglichkeit, aus übergeordneten Überlegungen heraus Kriterien für eine abdichtende Verfüllung bzw. eine fließwegerhaltende Verwahrung abzuleiten.

Auch nach Abschluss der Stilllegung wird es in der Grube Bereiche mit erhöhtem lösungszugänglichem Hohlraum geben (unvollständig oder mit Salzgrus verfüllte Steinsalzabbau, bislang schon verfüllte Kalilager einschließlich Begleitstrecken). Sofern die kontaminierte Lösung diese Bereiche durchfließen muss, ist zu erwarten, dass dies die Stoffausbreitung in der Grube zur Auspressstelle in das Gebirge verlangsamt. Abdichtende Maßnahmen sind in diesen Bereichen nicht vorgesehen und i. d. R. auch nicht möglich, so dass hier eine Speicherung nicht in Konkurrenz mit einer Zuflussbehinderung steht. **Es ist deshalb grundsätzlich von Vorteil, alle diejenigen Fließwege einzuschränken, die eine Umströmung der Bereiche mit erhöhtem lösungszugänglichem Hohlraum ermöglichen. Konkret sind dies Strecken<sup>30</sup> (sofern sie nicht nur unmittelbar benachbarte Abbau direkt miteinander verbinden) und Gesenke, Rolllöcher und Bohrungen, die Strecken miteinander verbinden.** Das Verfüllkonzept des BfS sieht die weitgehende Verfüllung der Strecken vor.

Für drei Bereiche der Grube sollte – auf einer lokationsspezifischen Analyse der bergbaulichen und geologischen Gegebenheiten sowie der hieraus resultierenden Fließwege basierend – eine einzelfall-spezifische Abwägung zwischen fließwegerhaltender Verwahrung und abdichtender Verfüllung erfolgen. Dies betrifft

- die Unterwerksgrubenbaue im Südfeld (Erhalt als Speicher für kontaminierte Lösung aus den Einlagerungsgrubenbauen oder Verfüllung zur Verringerung der Durchströmung der Einlagerungsgrubenbaue bzw. zur Erhöhung der Sorption),
- die bergmännischen Hohlräume im Nordfeld (Abbau, Rolllöcher etc.) oberhalb der Einlagerungsgrubenbaue (Erhalt als Speicher für kontaminierte Lösung aus dem Nordfeld oder Verfüllen zur Verringerung der Durchströmung der Einlagerungskammer Nordstrecke bzw. zur Erhöhung der Sorption) und
  - sofern eine Verbindung zum Nordfeld nicht ausgeschlossen werden kann –
- die 500 m Sohle Marie (Erhalt als Speicher für kontaminierte Lösung aus dem Nordfeld oder Verfüllen zur Verringerung der Durchströmung der Einlagerungskammer Nordstrecke).

Hinsichtlich einer Empfehlung verweisen wir auf E 6 in Kapitel 3.2.2.4.

#### 3.2.2.3.5. Behinderung des Lösungsabflusses

Maßnahmen zur Behinderung des Lösungszuflusses zu den Einlagerungsbereichen behindern grundsätzlich auch den Abfluss der kontaminierten Lösung in der Auspressphase. Es ist deshalb anzustreben, dass die den Lösungsfluss behindernden Maßnahmen nicht im Laufe der Zeit und insbesondere schon vor Beginn der Auspressphase unwirksam werden. Dies ist bei der Auswahl und Realisierung der Maßnahmen zur Behinderung des Lösungszuflusses zu berücksichtigen. Aufgrund

<sup>30</sup> Dies schließt Rampen und Bremsberge mit ein.

von Lösungs- und Umlösungsprozessen in der Grube während der Phase des Volllaufens lässt sich die langfristige Wirksamkeit von den Lösungsfluss behindernden Maßnahmen häufig nicht nachweisen. Zudem sind die Fließmengen in der Auspressphase vermutlich geringer als in der Phase des Volllaufens der Grube, so dass bei gleichem hydraulischem Widerstand die Behinderung des Lösungsabflusses geringer als die des Zuflusses ist. Dennoch sollten die den Lösungsfluss behindernden Maßnahmen so konzipiert werden, dass sie eine möglichst lange Wirksamkeit besitzen.

#### **3.2.2.4. Optimierung des Verfüllkonzepts**

Aus unserer Sicht besteht insbesondere unter Berücksichtigung der vorstehend betrachteten Möglichkeiten für zusätzliche Schutzmaßnahmen das Erfordernis, die Optimierung des vorgesehenen Stilllegungskonzepts und des heraus abgeleiteten Verfüllkonzepts darzulegen. Die vom BfS vorgelegte Planunterlage „Übersicht über die geprüften technischen Verfahrensalternativen zur Stilllegung des ERAM“ [A 280] ist nach unserer Einschätzung nicht ausreichend spezifisch und unvollständig. Darauf wiesen wir bereits im Rahmen der Prüfung der Auslegungsreife des Plan Stilllegung hin (vgl. [BS 09]). Die Unterlage [A 280] genügt nicht dem Optimierungsgebot der SSK. Auch aus der Informationsunterlage „Endlager Morsleben – Nachweis der radiologischen Langzeitsicherheit für das verfüllte und verschlossene Endlager: eine Übersicht“ [I 364] sind keine wesentlichen ergänzenden Informationen hinsichtlich der Verfahrensalternativen zu entnehmen. Wir empfehlen deshalb:

**E 6: Vom BfS sollte dargelegt werden, dass das Verfüllkonzept dem Optimierungsgebot entspricht. Hierbei sollte insbesondere auf die folgenden Aspekte eingegangen werden:**

- **Einschränkung des Fließweges zwischen dem Lösungszutritt in Lager H und der Grube Bartensleben mittels Abdichtungen und vollständiger Verfüllung der Verbindungsstrecken.**
- **Verwahrung der Nordstrecke auf der 4. Sohle der Grube Bartensleben und der Rolllöcher im Bereich der Einlagerungsgrubenbaue des Nordfelds.**
- **Verwahrung des Südfelds im Umfeld der Einlagerungsgrubenbaue (Unterwerksgrubenbaue, Südstecke, B-Gesenk 1B).**
- **Versetzen der Einlagerungshohlräume auf der 4. Sohle des Westfelds mit Lösung.**
- **Verwahrung der 500 m Sohle der Grube Marie.**
- **Verfüllgrade der Abbaue im Ostfeld südlich des Ostquerschlags.**
- **Verwahrung der bergmännischen Hohlräume im Nordfeld (Abbaue, Rolllöcher) oberhalb der Einlagerungsgrubenbaue.**
- **Standort des Radiumfasses und Verwahrung dieses Standorts.**
- **Einlagerung von CO<sub>2</sub>-bindenden und neutralisierenden Stoffen in den Einlagerungsbereichen.**
- **Verwendung von Bentonit beim Aufbau der Abdichtungen.**
- **Material für die Abdichtbauwerke und darauf abgestimmtes Material für den stützenden Versatz.**

**H 1: Die Umsetzung der Empfehlung E 06 ist u. E. aufgrund der bestehenden Ungewissheiten nicht mittels eines Nachweises möglich, dass die gewählte Verwahrung die Option mit dem niedrigsten Radionuklidaustrag ist.**

**Es sollte jedoch mit angemessenem Tiefgang begründet dargelegt werden, dass die bei dieser Betrachtung ausgeschlossenen alternativen Optionen nicht mit einem signifikant niedrigeren Radionuklidaustrag verbunden sein dürften.**

### **3.2.3. Verfüllmaterialien**

In diesem Kapitel verstehen wir unter Verfüllmaterial den stützenden Versatz, der zum Schutz der Tagesoberfläche und zum Erhalt bzw. zur Wiederherstellung der Barrierenintegrität in die Grube eingebracht werden soll.

Hiervon unterscheiden wir

- die Baustoffe für die Errichtung von Abdichtungen, die Verfüllung der Schächte und die Abdichtung von Bohrungen und
- die sonstigen Stoffe, die im Rahmen zusätzlicher Schutzmaßnahmen lokal in die Grube eingebracht werden (zum Zweck des hydraulischen Offenhaltens von Grubenbauen, der verstärkten Sorption oder der Abdichtung).

#### **3.2.3.1. Materialien – Anforderungen und Eigenschaften**

##### Anforderungen

Die Anforderungen an das Verfüllmaterial hängen von dessen Einsatzgebiet im ERAM ab und sind deshalb nicht notwendigerweise an jeder Einbaustelle identisch. Im Folgenden werden die verschiedenen bestehenden Anforderungen aufgelistet, wobei nicht überall alle Anforderungen erfüllt werden müssen:

- Es soll an den erforderlichen Stellen sofort stützend wirken.
- Es soll an den erforderlichen Stellen eine weitgehende firstbündige Verfüllung ermöglichen (beim Verfüllkonzept des BfS nicht erforderlich bei Abbauen der Verfüllkategorie III).
- Es soll an den erforderlichen Stellen im eingebauten Zustand einen möglichst großen hydraulischen Widerstand bilden (beim Verfüllkonzept des BfS nicht erforderlich bei Abbauen der Verfüllkategorien II und III).
- Es soll mit vertretbarem Aufwand eingebaut werden können.
- Es soll mit den Baustoffen und sonstigen Stoffen chemisch verträglich sein, d. h. es soll das chemische Milieu in der Grube nicht in einer Weise beeinflussen, die sich auf die Wirksamkeit bzw. Wirkungsdauer der verschiedenen Schutzmaßnahmen negativ auswirkt.
- Es soll eine möglichst lange Standzeit (zumindest einige zehntausend Jahre) aufweisen.
- Es soll möglichst wenige Stoffe freisetzen, die die Grundwasserqualität beeinträchtigen können.
- Es soll in der erforderlichen Menge und Qualität zur Verfügung stehen.

- Es soll qualitätsgesichert und kostengünstig beschaffbar sein und seine Beschaffung bzw. Herstellung soll möglichst verträglich mit den Zielen Ressourcenschonung und Klimaschutz sein.

Zusätzlich ist folgende Eigenschaft von Vorteil:

- Das Verfüllmaterial weist lösungszugängliche Sorptionsplätze auf.

Lokal kann eine weitere Eigenschaft von Vorteil sein:

- Das Verfüllmaterial weist einen (nicht komprimierbaren) luftgefüllten und lösungszugänglichen Porenraum auf.

### Materialien

Die Eigenschaften der Verfüllmaterialien hängen von ihrer stofflichen Zusammensetzung und der angewendeten Einbautechnologie ab. Im Salzbergbau kommen folgende Stoffe zum Einsatz:

- Salze (NaCl- und CaSO<sub>4</sub>-dominiert) aus dem direkten Abbau oder als Rückstände der Kalisalz-aufbereitung,
- inerte mineralische Stoffe (natürliche Schotter, Kies und Sande sowie industrielle Rückstände),
- auf CaO-Basis (puzzolanisch) abbindende Stoffgemische unterschiedlichster Zusammensetzung und
- auf MgO-Basis abbindende Stoffgemische unterschiedlichster Zusammensetzung.

Zu den auf CaO-Basis abbindenden Stoffgemischen gehören die (CaO-)Beton. Betone, die mit gesättigter Salzlösung (NaCl-Lösung) angemacht werden, werden als Solebeton bezeichnet. Betone, bei denen als Zuschlag (Stein-)Salz eingesetzt wird, werden als Salzbeton bezeichnet. Eine Reihe von Stoffgemischen aus mineralischen Reststoffen (z. B. Braunkohle- oder Steinkohleflugaschen) gehören ebenfalls zu dieser Gruppe.

Zu den auf MgO-Basis abbindenden Stoffgemischen gehört der MgO- oder Magnesiabeton. Eine Reihe von Stoffgemischen aus mineralischen Reststoffen (z. B. Stahlwerksfilterstäuben und Rauchgasreinigungsrückstände) gehören ebenfalls zu dieser Gruppe.

Bei den Einbautechnologien kann differenziert werden zwischen trockenem Einbau, Spülversatz und Einbau als Dickstoff:

- Methoden des trockenen Einbaus sind neben dem maschinellen Einbau der Sturzversatz, der Blasversatz und der Schleuderversatz. Beim Blasversatz wird als Transportmedium Druckluft verwendet. Das Verfahren ist einsetzbar bis zu Körngrößen von 65 mm. Bei verschiedenen mineralischen Stoffen (z. B. Aschen) und bei mechanisch instabilen bzw. kriechfähigen Gesteinen (wie Salzgrus) ist der Trockenversatz stark komprimierbar und wirkt zunächst nicht stützend. Weiterhin lässt der trockene Einbau eine Firstanbindung nicht bzw. nur mit sehr großem Aufwand zu.

- Beim Spülversatz wird der Versatzstoff mit einem wässrigen Fluid eingebracht. Im Kalisalzbergbau klassisch ist der Spülversatz der Rückstände aus der Kalisalzaufbereitung. Als Fluid dient hier eine Salzlauge. Für das Mengenverhältnis von Feststoff zu Transportflüssigkeit (in m<sup>3</sup> Salzurückstand zu m<sup>3</sup> Lauge) werden in der Literatur Werte zwischen 1:0,6 und 1:0,9 angegeben. Die mit dem Spülversatz eingebrachte Lauge wird im Kreislauf gefahren. Da beim Einbau der Salzurückstände praktisch keine Lösung gebunden wird, muss die eingebrachte Lauge nahezu vollständig gefasst und gehoben werden. Für das Einbringen von bergbaufremden Abfällen als Spülversatz werden Feststoff:Flüssigkeit-Verhältnisse von 1:1,5 bis 1:2 angegeben. Der im Versatzkörper verbleibende Lösungsanteil beträgt hier zwischen 30 % und 45 %, so dass je m<sup>3</sup> Reststoff ca. 1 m<sup>3</sup> Lauge gefasst und gehoben werden muss.
- Als Dickstoff wird eine Versatzsuspension bezeichnet, bei deren Aushärtung die Transportflüssigkeit praktisch vollständig gebunden wird, so dass unter Tage keine oder nur geringe Mengen an Überschusslösung anfallen. Dickstoffe sind stets abbindende Stoffgemische.

#### Stützwirkung und firstbündiger Einbau

Als sofort stützende Materialien stehen Betone und andere Dickstoffe sowie eingeschränkt Hartgesteine und Spülversatz zur Verfügung.

**Betone** weisen ein gutes Fließ- und Ausbreitungsverhalten auf und können deshalb bei geeigneter Ausführung (Entlüftung und Einbau unter Druck) zumindest lokal mit Firstanschluss eingebaut werden. Die Volumenabnahme durch Schrumpfung ist im Vergleich zu Spülversatz gering, so dass schon deutlich früher nach dem Einbau eine stützende Wirkung des konvergierenden Gebirges einsetzt. Als Dickstoff eingebaute abbindende Stoffgemische rechnen wir hier den Betonen zu.

Ein firstbündiger Einbau von **Hartgesteinen** ist nur mit erheblichem Aufwand und in befahrbaren Grubenbauen möglich. Für Blas- und Schleuderversatz werden erreichbare Verfüllgrade von 60 % bis 70 % angegeben. Eine weitgehend firstbündige Verfüllung könnte dadurch erreicht werden, dass zunächst der mittels Schütt-, Blas- oder Schleudertechnologie zugängliche Teil des Grubenbaus mit Hartgestein verfüllt wird und im Anschluss eine Verfüllung des restlichen Hohlraums mit einem geeigneten Beton erfolgt. Hierbei dringt der Beton jedoch auch in unbekanntem Umfang in den Porenraum des Hartgesteins ein.

**Spülversatz** aus Rückständen der Kalisalzaufbereitung weist unmittelbar nach seinem Einbau typischerweise eine Porosität von ca. 15 % auf. Nach einigen Jahren der Entwässerung und Umkristallisation sinkt die Porosität auf wenige Prozent ab und der Spülversatz weist hohe Druckfestigkeiten auf. Findet die Entwässerung und Umkristallisation unter dem Druck eines (aufgrund der hohen Konvergenzraten im Kalisalz) auflaufenden Gebirges statt, werden Druckfestigkeiten ähnlich denen von Salzgestein erreicht. Während des Prozesses der Entwässerung und Umkristallisation kommt es zu Setzungen im Versatzkörper. Bei langsamer Konvergenz des Gebirges bildet sich ein Firstspalt aus. Zur Stützung des umgebenden Gebirges mit einem sofort stützenden Versatzkörper (im Hinblick auf einen möglichst raschen Abbau der Zone, in der das Fluidkriterium verletzt ist) müsste in einem weiteren Versatzschritt der Firstspalt verfüllt werden (mit Spülversatz oder einem geeigneten Beton). Da die Setzungen erst nach Jahren sicher abgeklungen sind, müssten die Abbaue über diesen Zeitraum für Verfüllmaßnahmen erreichbar bleiben.

Die Eigenschaften von als Spülversatz eingebauten abbindenden Stoffgemischen aus Reststoffen hängen stark von den Stoffgemischen ab. Pauschale Aussagen zur Stützwirkung und zur Firstanbindung sind uns nicht möglich.

Im Hinblick auf die Standsicherheit und Barrierenintegrität ist zu berücksichtigen, dass das Einbringen von Spülversatz zu einem erheblichen Feuchteintrag in das Gebirge führt, was zu einer Beschleunigung der Kriechprozesse in den dilatanten (und damit lösungs- bzw. wasserdampfzugänglichen) Gebirgsbereichen führt.

### Hydraulischer Widerstand

An den Stellen, an denen der Versatz einen hohen hydraulischen Widerstand aufweisen soll, ist eine Verfüllung mit einem geeigneten (ausreichend langzeitbeständigen) Beton von Vorteil. Hartgesteine fallen hier als Verfüllstoffe aus. Die Wirksamkeit von Spülversatz aus der Kalisalzaufbereitung als abdichtendes Material ist anfänglich aufgrund von Inhomogenitäten im Versatzkörper und Setzungen stark eingeschränkt. Langfristig besteht unter dem Einfluss der Konvergenz das Potential zur Ausbildung sehr niedriger Permeabilitäten ( $\ll 10^{-18} \text{ m}^2$ ). Aussagen zur zeitlichen Entwicklung der Permeabilität sind mit großen Unwägbarkeiten verbunden.

### Aufwand für den Einbau

Der Aufwand für den Einbau ist bei Betonen (allgemein: Dickstoffen) am geringsten, da diese hydraulisch eingebracht werden können und da im Vergleich zum Einbau von Spülversatz nur vergleichsweise geringe Maßnahmen zum Auffangen und Rückführen von überschüssigen Lösungen ergriffen werden müssen.

Beim Einsatz von Spülversatz müssten im ERAM einige Mio.  $\text{m}^3$  Spüllösung gefasst und rückgeführt werden. In den stark durchbauten Bereichen dürfte eine kontrollierte Fassung der Spüllösung kaum möglich sein. Im Südfeld und im Ostfeld dürfte sich kaum verhindern lassen, dass ein Teil der Lösungen in die Einlagerungsabbau eindringt und als kontaminierte Lauge an anderer Stelle austritt.

Der Einbau von Hartgesteinen würde trocken erfolgen. Die Hartgesteine könnten mittels Versturz nach untertage gebracht und dort mittels Fahrzeugen oder Förderbändern horizontal verteilt werden. Der Einbau in einen (Steinsalz-)Abbau könnte grundsätzlich als Versturz-, Blas- oder Schleuderversatz oder mittels Fahrzeugen erfolgen.

Für einen Einbau mittels Versturz müssten die entsprechenden Versturzbohrungen einen wesentlich größeren Durchmesser aufweisen als die Verfüllbohrungen für den Versatz mit Beton. Zudem müssten sie steil einfallend sein. Da die Verteilung der Hartgesteine innerhalb des Grubenbaus durch den Schüttwinkel des Hartgesteins beschränkt wird, müssten zur Verfüllung zudem eine deutlich höhere Anzahl an Bohrungen durchgeführt werden. Eine solche Erschließung der Abbau dürfte kaum möglich sein und würde eine größere Anzahl neuer Auffahrungen erfordern, was auf den oberen Sohlen kaum zulässig sein dürfte.

Wir gehen davon aus, dass auch der Einbau mittels Blas- oder Schleuderversatz oder mittels Fahrzeugen deutlich zeit- und kostenaufwendiger ist als das Einbringen von Dickstoff.



### Chemische Verträglichkeit

Die Auswahl des Verfüllmaterials, der Baustoffe (hier i. W. für die Abdichtungen) und der sonstigen Stoffe sollte aufeinander abgestimmt erfolgen.

Inerte Schotter, Kiese und Sande sind mit den Baustoffen und sonstigen Stoffen chemisch verträglich. Spülversatz besteht überwiegend aus NaCl und CaSO<sub>4</sub> und untergeordnet aus KCl und MgCl<sub>2</sub>. NaCl und CaSO<sub>4</sub> führen im Falle eines Volllaufens der Grube zu keiner Veränderung der Lösungschemie. Der Einfluss von KCl und MgCl<sub>2</sub> müsste nach der Ermittlung einer möglichen Bezugsquelle des Spülversatzes und seiner quantitativen Zusammensetzung geklärt werden.

Zementbasierte Betone führen zu einer Abreicherung der Mg-Konzentration in der Grubenlösung, MgO-basierte Betone zu einer Anreicherung. Mg-haltige Grubenlösung greift Abdichtbauwerke aus zementbasierten Betonen an, Mg-arme Grubenlösung solche aus MgO-basierten Betonen.

Vom BfS ist vorgesehen, die Abdichtungen i. d. R. aus Salzbeton (auf Zementbasis) zu errichten. Lediglich für die Abdichtung zwischen Ostfeld und Restgrube auf der 4. Sohle Bartensleben im Anhydrit ist entsprechend dem Plan Stilllegung der Einsatz von MgO-Beton vorgesehen.

Die wesentlichen Unterschiede zwischen beiden Betonarten sind:

- Im Laborversuch ist die Permeabilität des Salzbetons geringer als die des MgO-Betons (aber beide sind ausreichend niedrig).
- Salzbeton wird durch Mg-haltige Lösungen angegriffen. Je höher der Mg-Gehalt der Lösung, desto stärker der chemische Angriff. MgO-Beton wird nach [P 266] nur von solchen Lösungen angegriffen, die weniger als 50 g/l-MgCl<sub>2</sub> aufweisen.
- Salzbeton schrumpft bei der Herstellung. Dies führt zur Ausbildung einer Kontaktfuge zwischen dem Körper der Barriere und der Salzkontur und zu Rissen innerhalb des Körpers der Barriere. MgO-Beton quillt bei der Herstellung. Allerdings sind das Ausmaß des Quellens und der entstehende Quelldruck im Großmaßstab gegenwärtig nicht sicher steuerbar.

Aufbau und Materialien der technischen Barrieren werden gegenwärtig im Rahmen des AP 7 geprüft. Zurzeit ist aus unserer Sicht offen, ob die (bzw. welche der) Abdichtungen

- vollständig aus Salzbeton,
- vollständig aus MgO-Beton,
- als Mischbauwerk aus einem Abschnitt aus Salzbeton und einem Abschnitt aus MgO-Beton oder
- als Mischbauwerk mit einem Element aus Bentonit (o. ä.)

errichtet werden.

**Die Auswahl des Verfüllmaterials kann abschließend erst nach bzw. zusammen mit der Klärung des Aufbaus der technischen Barrieren erfolgen.**

### Langzeitbeständigkeit

(Geeignete) Hartgesteine und Spülversatz sind langzeitbeständig. Volumenverluste durch in geringem Umfang mögliche Lösungsprozesse werden durch die Konvergenz überkompensiert.

Im Falle einer trockenen Grube sind Betone auf Zementbasis dem Angriff durch gasförmiges CO<sub>2</sub> ausgesetzt. Entsprechend [P 278] können sich in den Einlagerungsbereichen bis zu 240 Mio. mol CO<sub>2</sub> bilden, davon 40 Mio. mol „kurzfristig“ durch das Zersetzen leichter abbaubarer organischer Stoffen wie Zellulose. MgO-Beton enthält ca. 7.000 mol Mg/m<sup>3</sup>. Unter der Annahme, dass dieses Mg mit CO<sub>2</sub> zu Hydromagnesit (Mg<sub>5</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>(OH)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O) reagiert, werden bei dem Zersetzen von 1 m<sup>3</sup> MgO-Beton 5.550 mol CO<sub>2</sub> verbraucht und bei dem Zersetzen von 7.200 m<sup>3</sup> MgO-Beton 40 Mio. mol CO<sub>2</sub>. Diese Menge ist im Vergleich zu den eingebrachten Betonmengen unbedeutend<sup>31</sup>.

Dringt CO<sub>2</sub> in CaO-basierten Beton ein, bildet sich aus dem im Beton enthaltenen Ca(OH)<sub>2</sub> sowie aus den CaO-Anteilen der CSH-Phasen (und ggf. anwesender Friedelscher Salze) CaCO<sub>3</sub> (Calcit, seltener: Vaterit oder Aragonit). Bei normalem Beton ist die Carbonatisierung mit einer Volumenzunahme verbunden und führt zu einer Abnahme des Porenvolumens und der Zunahme der Druckfestigkeit. Es ist möglich, dass dies auch bei Salzbeton der Fall ist. Hierzu liegen uns jedoch keine Untersuchungen vor. Bei der Carbonatisierung sinkt der pH-Wert der Porenlösung ab bis auf Werte um 9,5. Da im Salzbeton kein Stahl eingebaut ist, der bei diesen pH-Werten angegriffen würde, ist diese pH-Abnahme hinsichtlich der Stabilität des Salzbetons vermutlich nicht von Bedeutung.

Im Falle eines Volllaufens der Grube werden alle Betone durch die Grubenlösung chemisch angegriffen. Ihre Lebensdauer wird dadurch bestimmt, wie zugänglich ihr Porenraum für die anstehenden Salzlösungen ist und wie groß das Zersetzungspotential der Grubenlösung ist. Die Grube kann aber nur dann volllaufen, wenn die Barrierenintegrität verletzt ist. In diesem Fall ist das Schutzziel „Erhalt der Barrierenintegrität“, das als Begründung für das Erfordernis einer Verfüllung der Grube dient, nicht mehr relevant. Der Schutz der Tagesoberfläche ist auch bei einem langfristigen Zersetzen des Versatzes gegeben, da dieser Prozess nur sehr langsam und in ferner Zukunft abläuft, wenn die gegenwärtigen Senkungen abgeklungen sind. Außerdem wird die vollgelaufene Grube durch das Fluid und den (teilweise) entfestigten Beton gestützt. Eine Langzeitbeständigkeit des Salzbetons als Versatzmaterial gegenüber einem Lösungsangriff ist deshalb – im Gegensatz zu seinem Einsatz als Baustoff für die Abdichtungen – nicht erforderlich.

### Grundwassergefährdung

Beim Einsatz von Salz und natürlichen inerten Stoffen kann eine Grundwassergefährdung unmittelbar ausgeschlossen werden. Beim Einsatz von anthropogen veränderten Stoffen und insbesondere von Reststoffen ist der Nachweis zu erbringen, dass eine Grundwasserbeeinträchtigung ausgeschlossen ist.

---

<sup>31</sup> Im Hinblick auf die Langzeitbeständigkeit der Abdichtungen aus MgO-Beton ist der CO<sub>2</sub>-Angriff dagegen von möglicher Relevanz.

### Verfügbarkeit

Der Einsatz von Spülversatz aus Rückständen der Kalisalzauflösung setzt voraus, dass entsprechende Rückstände aus der Salzaufbereitung inklusive einer geeigneten Lage zur Verfügung stehen. Da das ERAM nicht mehr als Förderbetrieb genutzt wird, fallen diese vor Ort nicht an.

Zementbasierte Betone sind in dem erforderlichen Umfang verfügbar. Aussagen zur Verfügbarkeit von Hartgestein, Rückständen aus der Kalisalzauflösung, Reststoffen (mit den erforderlichen Eigenschaften) und MgO-basierten Betonen bedürfen einer entsprechenden Recherche bei möglichen Lieferanten, die im Rahmen dieses Gutachtens nicht durchgeführt wurde. Bei der Überprüfung der Verfügbarkeit von MgO-basiertem Beton ist der zeitgleiche Bedarf bei der Schichtanlage Asse II zu berücksichtigen.

### Kosten, Ressourcenverbrauch und Klimaschutz

Aussagen zu Kosten, Ressourcenverbrauch und CO<sub>2</sub>-Freisetzung bei der Beschaffung und dem Einsatz von Hartgestein, Rückständen aus der Kalisalzauflösung, Reststoffen (mit den erforderlichen Eigenschaften) und MgO-basierten Betonen bedürfen einer entsprechenden Recherche, die im Rahmen dieses Gutachtens nicht systematisch durchgeführt wurde<sup>32</sup>.

### Sorption

Hartgesteine weisen praktisch keine Sorptionsplätze auf. Rückstände aus der Kalisalzauflösung weisen in geringem Umfang tonige Bestandteile auf, die sorbierend wirken können. Betone und abbindende industrielle Reststoffe weisen ein gewisses Sorptionspotential auf. Eine Quantifizierung ist jedoch aufgrund der Ungewissheit über den Grad ihrer Zersetzung und Lösungszugänglichkeit kaum möglich.

### Lösungszugänglicher Porenraum

Hartgesteine weisen den mit Abstand größten lösungszugänglichen Porenraum zur Speicherung bzw. Transportverzögerung von kontaminierter Lösung in der Grube auf. Spülversatz dürfte zum Zeitpunkt der Auspressphase nur noch einen sehr geringen Porenraum und eine niedrige Zugänglichkeit für Lösungen aufweisen. Der Porenraum von (nicht zersetztem) Beton ist für Lösungen kaum zugänglich. Stoffeinträge können nur diffusiv erfolgen.

### **3.2.3.2. Bewertung der Materialauswahl des BfS**

Vom BfS ist vorgesehen, die Grubenhohlräume des ERAM weitgehend mit Salzbeton zu verfüllen. Hinsichtlich der Auswahl des Verfüllmaterials aus der Bandbreite der gemäß Kapitel 3.2.3.1 zur Verfügung stehenden Alternativen kommen wir zu folgenden Einschätzungen:

- Flüssigversatz, d. h. die Flutung der Grubenhohlräume mit Salzlauge, dürfte aufgrund der in Kapitel 3.2.2.1 aufgeführten Nachteile als Vorzugsoption ausscheiden. Gemäß E 01 sollte allerdings im Rahmen der Langzeitsicherheitsanalyse gezeigt werden, dass die trockene

<sup>32</sup> Der Energieverbrauch und die CO<sub>2</sub>-Freisetzung bei der Herstellung von CaO- und MgO-basierten Baustoffen hängen deutlich vom Herstellungsort ab. Die Verbräuche und Freisetzungen sind beispielsweise in China ca. doppelt so hoch wie in Deutschland. In Deutschland beträgt der Energiebedarf ca. 6 GJ je t MgO und 4 GJ je t Zementklinker. Die (verfahrensbedingte) CO<sub>2</sub>-Freisetzung liegt bei 1,3 t CO<sub>2</sub> je t MgO und 0,7 t CO<sub>2</sub> je t Zementklinker.

Verwahrung des ERAM gegenüber einer gezielten Flutung mit salzgesättigter Lösung von Vorteil ist.

- Salzgrus, der als Blasversatz einzubringen wäre, stellt u. E. kein geeignetes Verfüllmaterial dar, da die sofortige Stützwirkung fehlt. Auch im Hinblick auf eine Lösungsspeicherung (vgl. Kapitel 3.2.2.3.4) ist Salzgrus nicht geeignet, da der anfänglich vorhandene Porenraum mit der Zeit komprimiert wird und daher auf Dauer nicht zur Verfügung steht.
- Reststoffe weisen mit Ausnahme günstigerer Beschaffungskosten keine besseren Versatzeigenschaften als Beton auf. Wir sehen die Verwendung von Reststoffen wasserrechtlich als problematisch an, da aufgrund der lokal fehlenden Barrierenintegrität ein Eintrag von Schadstoffen aus den Reststoffen in das Grundwasser nicht ausgeschlossen werden kann.
- Für Grubenhohlräume, bei denen der sofortigen Stützwirkung des Verfüllmaterials besondere Bedeutung zukommt (Verfüllkategorie II), sind wir der Auffassung, dass Beton für die Verfüllung besonders geeignet ist.
- Für Bereiche, in denen keine Vollverfüllung angestrebt wird, könnte sich jedoch auch eine hohlraumerhaltende Verfüllung mit inertem Material als vorteilhaft erweisen.

Bei der Auswahl des Verfüllmaterials geht das BfS von der Prämisse aus, dass (nahezu) alle Grubenhohlräume mit dem gleichen Material verfüllt werden sollen<sup>33</sup>. Diese Prämisse wird jedoch weder explizit erwähnt noch begründet. Vorteile eines solchen Vorgehens sind, dass sich hierdurch der Aufwand für die Logistik und die Einbautechnik vereinfacht und dass es nicht zu chemischen Unverträglichkeiten zwischen verschiedenen Verfüllmaterialien kommen kann. Im Rahmen des von der SSK, der ICRP und der IAEA empfohlenen Optimierungsprozesses sollten diese Vorteile den möglichen Vorteilen einer (zumindest teilweise) hohlraumerhaltenden Verfüllung mit Inertstoffen (Speicherung von Gasen, Speicherung von kontaminierten Lösungen, Verringerung des auspressbaren Lösungsvolumens) gegenübergestellt und gegeneinander abgewogen werden.

Wir erwarten, dass die lokale Verwendung von inertem Material als hohlraumerhaltende Verfüllung keine realistische Alternative zu einer Teilverfüllung mit Beton ist, da

- der Einbau aufwändiger ist,
- eine Einbaulogistik für zwei signifikant unterschiedliche Materialien erforderlich wäre und
- die Verwendung großer Schottermengen ggf. ressourcenschädlich ist.

Dies sollte jedoch im Detail begründet werden.

Für die Auswahl von Salzbeton anstelle von MgO-Beton als Verfüllmaterial spricht, dass die chemische Verträglichkeit mit dem im Rahmen der bGZ schon vorab eingebauten Salzbeton gegeben ist und dass auf die im Rahmen der bGZ gewonnenen Erfahrungen zurückgegriffen werden kann. Zudem gehen wir davon aus, dass der Einsatz von Salzbeton kostengünstiger ist und mit weniger Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Freisetzung verbunden ist. Nachteil von Salzbeton ist, dass er gegenüber Mg-haltiger Lösung, wie sie im ERAM bei einem Volllaufen zu erwarten ist, chemisch

<sup>33</sup> Ausnahmen sind lediglich die Schächte, das Rollochsystem zwischen Südfeld und Südostfeld, die Abdichtung zum Ostfeld auf der 4. Sohle im Anhydrit sowie das vorgesehene Bohrloch zum Gasausgleich zwischen der 1. Sohle des Südfelds und der 3. Sohle des Westfelds.

nicht beständig ist. Im Rahmen der Optimierung sollte dargelegt werden, weshalb die bisherige und künftige Verfüllung mit Salzbeton und nicht mit MgO-Beton erfolgte bzw. erfolgen soll.

Wir kommen zu folgender Empfehlung:

**E 7: Die Auswahl des Verfüllmaterials sollte vom BfS begründet werden:**

- **Es sollte begründet werden, weshalb für alle Grubenhohlräume ein gleichartiges Verfüllmaterial (Beton) ausgewählt wurde. Bei dieser Begründung sollte die Möglichkeit einer hohlraumerhaltenden Verfüllung in Grubenhohlräumen, die keiner stützenden Vollverfüllung bedürfen, berücksichtigt werden. Zur Bewertung der Relevanz dieser Möglichkeit sollte eine ausführliche und belastbare Darstellung der Vor- und Nachteile gegenüber einer Verfüllung dieser Hohlräume mit Beton erfolgen.**
- **Es sollte dargestellt werden, aus welchen Gründen Salzbeton und nicht MgO-Beton für die Verfüllung ausgewählt wurde.**

### **3.2.4. Verfüllumfänge**

Im Folgenden bewerten wir die im Verfüllkonzept des BfS vorgesehenen Verfüllkategorien I bis IV.

Kategorie I: Abdichtungen (Verfüllgrad 100 %)

**Der Errichtung von Abdichtbauwerken an den vom BfS vorgesehenen Stellen im Grubengebäude stimmen wir zu.** Material und Bau der Abdichtungen sind hierbei jedoch zu optimieren. Dies ist Gegenstand des Prüfkomplexes 7. Weiterhin ist im Rahmen einer Optimierung zu prüfen, ob im Bereich des Lagers H und in der Nordstrecke auf der 4. Sohle der Grube Bartensleben nicht weitere Abdichtungen zu errichten sind (siehe E 6 in Abschnitt 3.2.2.4).

Kategorie II: Zutrittsgefährdete Grubenbaue (Verfüllgrad bis 100 %)

Gemäß Plan Stilllegung und [P 220] sind der Kategorie II diejenigen Grubenbaue zugeordnet, die ‚geomechanisch zu stabilisieren‘ sind. Das Kriterium ‚Stabilisieren‘ wird in diesen Unterlagen nicht definiert. Wir gehen davon aus, dass darunter zu verstehen ist, dass es keine weitere signifikante Verformung gibt, die zu einem Verbruch oder zur Schwächung des umgebenden Gebirges führt bzw. führen kann. Unter dieser Voraussetzung kann der Definition der Verfüllkategorie II vom Grundsatz her zugestimmt werden.

Gemäß Empfehlung E 03 ist für die Bewertung des derzeitigen Integritätszustands allerdings nicht das vom Antragsteller verwendete Abstandskriterium geeignet, sondern es sollten das Fluidkriterium und das Dilatanzkriterium herangezogen werden. Gemäß Empfehlung E 02 sollten die Verfüllgrade so festgelegt werden, dass lokal die dort bestehende Barrierenintegrität erhalten bleibt bzw. die dort derzeit nicht vorhandene Barrierenintegrität möglichst schnell wieder hergestellt werden soll.

Hinsichtlich des vorgesehenen Verfüllgrades für Grubenbaue der Kategorie II wird in [P 220] angegeben, dass die geforderte geomechanische Stützwirkung nach bisheriger Abschätzung mit einer weitgehenden Firstanbindung erreicht werde und dass der hierfür erforderliche Verfüllgrad

rechnerisch mit 95 % für die größeren Steinsalzabbau angenommen werde. In Verbindung mit der Aussage im Plan Stilllegung, dass die Grubenbaue der Verfüllkategorie II ‚möglichst vollständig‘ verfüllt werden, verstehen wir dies so, dass der Verfüllgrad von 95 % lediglich für Berechnungen angenommen wird und nicht das Verfüllziel darstellt, und dass

- die Zielstellung in einer vollständigen Verfüllung dieser Grubenbaue liegt,
- dabei soweit verfüllt wird, wie mit dem aktuellen Stand der Technik erreichbar und unter Langzeitsicherheitsaspekten (Erhalt der geologischen Barriere) verhältnismäßig ist sowie
- eine weitgehende (d. h. den größten Teil der Firstfläche betreffende) Firstanbindung erreicht werden soll.

Aus unserer Sicht ist es erforderlich, den Verfüllerfolg für jeden einzelnen Grubenhohlraum, der eine Vollverfüllung erhalten muss, nachzuweisen. Gemäß [G 188] ist für Grubenbaue der Kategorie II der Verfüllerfolg nachgewiesen, wenn das Versatzniveau die Höhe der Versatzeinlaufpunkte bzw. der Entlüftungsbohrung erreicht. Aus unserer Sicht ist diese Vorgehensweise nur dann geeignet, wenn sich der Versatzeinlaufpunkt bzw. die Entlüftungsbohrung an der höchsten Stelle eines Grubenhohlraums befinden und wenn die Firste des Hohlraums nicht oder nur so gering gegliedert ist, dass nicht mit steigendem Verfüllniveau abgetrennte Resthohlräume entstehen. Wir verweisen auf die Angaben in der Unterlage [P 229], nach denen bei Grubenbauen, für die Vorgaben hinsichtlich des zu erreichenden Füllstands bestehen, der Füllstand des Salzbetons z. B. durch Messsensoren überwacht werden soll, die durch die Entlüftungs- und/oder Verfüllbohrungen geführt werden. Zudem sollen ggf. Nachverfüllungen erfolgen, bis das Verfüllziel erreicht ist.

#### Kategorie III: Sonstige Grubenbaue (Verfüllgrad $\geq$ 65 %)

In Kapitel 3.2.2.1 kamen wir zu dem Ergebnis, dass die Verfüllgrade der verschiedenen Grubenbaue des ERAM so festgelegt werden sollten, dass

- (1) in den Gebirgsbereichen, in denen gegenwärtig die Integrität der geologischen Barriere nachgewiesen werden kann, diese langfristig erhalten bleibt,
- (2) in den Gebirgsbereichen, in denen gegenwärtig die Integrität der geologischen Barriere nicht nachgewiesen werden kann, die Gebirgsspannungen derart verändert werden, dass sich die Beanspruchung der geologischen Barriere gegenüber dem derzeitigen Zustand verringert und die Barrierenintegrität für einen möglichst frühen Zeitpunkt in der Zukunft nachgewiesen werden kann,
- (3) der Schutz der Tagesoberfläche gewährleistet ist und
- (4) die Sicherheit des Betriebs gewährleistet ist.

Darüber hinaus sollte der Verfüllgrad im Rahmen eines Optimierungsprozesses festgelegt werden, in dem die Kriterien

- potentielle Strahlenexpositionen nach Abschluss der Stilllegung im Fall eines Volllaufens der Grube,
- technische Realisierungsmöglichkeit und
- Aufwand

zu berücksichtigen sind. Die Optimierung sollte so erfolgen, dass die unter (1) bis (4) aufgeführten Ziele nicht beeinträchtigt werden (siehe E 2).

Die Nachweise zu (1) bis (3) werden vom BfS zurzeit überarbeitet. Die in den Planunterlagen angegebenen Kriterien und Vorgehensweisen zur Gewährleistung der Sicherheit des Betriebs sind widersprüchlich (siehe [BS 11b]) und entsprechen nach mündlicher Mitteilung des BfS nicht den gegenwärtig im ERAM praktizierten Vorgehensweisen. Eine Optimierung des Verfüllgrads im Hinblick auf eine Minimierung der potentiellen Strahlenexpositionen nach Abschluss der Stilllegung ist bislang nicht erfolgt.

**Eine Bewertung der vorgesehenen Verfüllgrade der der Kategorie III zugeordneten Grubenbaue kann deshalb gegenwärtig nicht erfolgen.**

Nach unserer Einschätzung wäre die nicht vollständige Verfüllung eines Grubenbaus nur dann akzeptabel, wenn

- die Barrierenintegrität trotz Teilverfüllung langfristig erhalten bliebe (nachzuweisen i. W. mittels Einhaltung des Fluidkriteriums) oder
- – sofern der langfristige Erhalt der Barrierenintegrität nicht nachweisbar ist – die Verletzung der Kriterien (i. W. des Fluidkriteriums) auch bei einem anderen als dem geplanten Verfüllgrad nicht signifikant schneller aufgehoben wird.

**E 8: Für Grubenbaue, die nicht vollständig verfüllt werden sollen, sollte mittels Verwendung des Fluid- und des Dilatanzkriteriums nachgewiesen werden, dass die Integrität des die Grube umgebenden Gebirges langfristig erhalten bleibt.**

**Falls dieser Nachweis nicht geführt werden kann, ist der Nachweis erforderlich, dass die Verletzung dieser Kriterien auch bei einem anderen als dem geplanten Verfüllgrad nicht signifikant schneller aufgehoben würde.**

Bei der Ableitung der erforderlichen Verfüllgrade möchten wir insbesondere auf die folgenden Grubenbaue hinweisen:

- Im Zentralteil ist für die Grubenbaue Abbau 13 nördlich (09YEA51/R004) und Abbau 13 südlich (09YEA51/R005) der 1. Sohle Bartensleben nur eine ca. 50 %ige Verfüllung vorgesehen. Es ist derzeit unklar, ob das Fluidkriterium dennoch dauerhaft eingehalten wird. Wenn dies nicht der Fall sein sollte, wäre zwecks Minimierung der Wahrscheinlichkeit von Lösungszutritten zu prüfen, ob es bei einer Vollverfüllung zu einer schnelleren Wiederherstellung der Barrierenintegrität käme.
- Die Steinsalzabbaue im Südfeld sollen i. d. R. nur teilverfüllt werden. Die Ergebnisse geomechanischer Modellrechnungen zur Einhaltung des Fluidkriteriums sind derzeit noch nicht verfügbar. Solange kein Nachweis einer dauerhaften Barrierenintegrität vorliegt, kann nicht ausgeschlossen werden, dass eine stärkere Verfüllung als derzeit vorgesehen erforderlich sein könnte.

#### Kategorie IV: Kalilager (Verfüllgrad bis 100 %)

Mit der vom BfS vorgesehenen möglichst weitgehenden Verfüllung der Kalilager soll die Lösungszugänglichkeit dieser Gruben Hohlräume reduziert werden. Ziel ist eine Minimierung der Umlöseprozesse und der damit verbundenen Hohlraumneubildung.

Im Hinblick auf den Schutz der Tagesoberfläche und von benachbarten (heutigen und künftigen) Bergwerken ist eine Minimierung der Umlöseprozesse und der damit verbundenen Hohlraumneubildung von Vorteil. Die vorliegenden Berechnungen des BfS [P 267] weisen allerdings aus, dass auch im Falle eines vollständigen Auflörens der Kalilager der Schutz der Tagesoberfläche gewährleistet wäre.

Sofern durch die Umlöseprozesse keine Wegsamkeiten zu den abgedichteten Einlagerungsbereichen geschaffen werden, sind die Folgen der Hohlraumneubildung durch Umlöseprozesse im Hinblick auf die Langzeitsicherheit des ERAM vermutlich gering.

Von größerer Bedeutung für die Langzeitsicherheit ist der mögliche Einfluss von Umlöseprozessen auf den Grubenwasserchemismus. Sofern Umlöseprozesse in den Kalilagern reduziert werden können, wird es zu einer geringeren Freisetzung von Magnesium kommen. Dies hätte einen positiven Effekt für Abdichtungen (und Hohlraumverfüllungen) aus Salzbeton, jedoch negative Auswirkungen für Abdichtungen (und Hohlraumverfüllungen) aus MgO-Beton.

Ob mit der vorgesehenen Verfüllung der Kalilager ein Nutzen verbunden ist, hängt also davon ab, ob Salzbeton oder MgO-Beton für die Abdichtungen und die Hohlraumverfüllung verwendet werden. Wir kommen diesbezüglich zu folgenden Einschätzungen:

- Sofern Salzbeton für die Herstellung der Streckenabdichtungen verwendet wird, sollte auch die Hohlraumverfüllung mit Salzbeton stattfinden und es sollte eine möglichst vollständige Verfüllung der Kalilager erfolgen, um den Magnesiumgehalt der Grubenlösung möglichst gering zu halten und eine verstärkte Korrosion der Streckenabdichtungen zu vermeiden. Beides sieht das Verfüllkonzept des BfS vor.
- Sofern MgO-Beton für die Herstellung der Streckenabdichtungen verwendet wird, ist zu prüfen, ob nicht auch die Hohlraumverfüllung mit diesem Material stattfinden sollte. Weiterhin ist zu prüfen, ob eine Verfüllung der Kalilager besser nur dort erfolgen sollte, wo dies unter geomechanischen Aspekten erforderlich ist. An den übrigen Stellen würden die Kalilager lösungszugänglich bleiben, um eine Anreicherung der Grubenlösung mit Magnesium (auf 50 g/l  $MgCl_2$  und mehr) zu ermöglichen. Unter diesen Verhältnissen wären die Streckenabdichtungen gemäß [P 266] chemisch stabil gegenüber der Grubenlösung.

**Der zulässige Grad der Verfüllung der Kalilager steht somit maßgeblich in Zusammenhang mit der Auswahl der für die Streckenabdichtungen und für die Hohlraumverfüllung zu verwendenden Materialien.**



### **3.2.5. Durchführung der Verfüllung**

Das im Verfüllkonzept vorgegebene Prinzip einer Verfüllung von unten nach oben und von außen zu den Schächten hin ist sachgerecht und zweckmäßig.

Ob die angegebene Durchführung der Verfüllung mit dem Nachweis der betrieblichen Sicherheit verträglich ist, kann gegenwärtig nicht überprüft werden, da dieser Nachweis noch nicht vorliegt. Wir verweisen hierzu auf [BS 11a] und [BS 11b].

**Zum Schutz der Barrierenintegrität ist die möglichst vollständige Verfüllung von Grubenbauen (z. B. der zutrittsgefährdeten Grubenbaue) wünschenswert. In [P 220] wird für manche Grubenbaue – ggf. aus technischen Gründen – dennoch eine Verfüllung von unter 100 % angesetzt. Es sollte jeweils geprüft werden, ob nicht mit Hilfe zusätzlicher technischer Lösungen eine Vollverfüllung erreicht werden kann. Sofern die unvollständige Verfüllung beispielsweise damit begründet wird, dass auf den oberen Sohlen keine Entlüftungsbohrung in das Höchste des Abbaus erstellt werden kann, sollte geprüft werden, ob nicht z. B. zusätzlich oder alternativ zu der Entlüftungsbohrung eine Entlüftungsleitung in das Firsthöchste verlegt wird.**

Dies betrifft bspw. den Abbau 7 nördlich (09YER21/R005) im Nordfeld auf der 1. Sohle Bartensleben, der in [P 67] als potenziell zuflussgefährdet identifiziert wird und in [P 220] der Verfüllkategorie II zugeordnet ist. Für diesen Abbau ist gemäß [P 220] eine Verfüllung zu 95 % und in den Anlagen der geomechanischen Modellrechnungen [P 234] eine Verfüllung zu 93,4 % vorgesehen (vgl. Kapitel 4.1.3).

## **4. KONSISTENZ DES VEFÜLLPLANS MIT DEN SICHERHEITS-NACHWEISEN**

### **4.1. Konsistenz mit den Nachweisen der Standsicherheit und Integrität**

#### **4.1.1. Standsicherheits- und Integritätsnachweis für das Südfeld [P 215]**

In Tabelle 3-2 des „Standsicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers: Grubenteil Südfeld“ [P 215] sind die bei den (zweidimensionalen) geomechanischen Modellrechnungen angesetzten Verfüllgrade verschiedener Grubenhöhlräume, die sich auf der modellierten Schnittpur durch die Abbaureihe 8 südlich des Südfelds befinden, angegeben. In Tab. 4.1-1 sind diese Angaben sowie zum Vergleich auch in [P 220] angegebenen Verfüllgrade dieser Grubenhöhlräume dargestellt.

Tabelle 4.1-1: Vergleich der Verfüllgrade von in [P 215] berücksichtigten Grubenhöhlräumen mit den Angaben aus [P 220] (Modell SF8S)

<b>Grubenhöhrraum</b>	<b>Kennzeichnung</b>	<b>Verfüllgrad [%] gem. [P 215]</b>	<b>Verfüllgrad [%] gem. [P 220]</b>
Strecken der 4. Sohle	--	100	„möglichst vollständig“
Kalilager 4. Sohle	--	100	90 - 100
Abbau 8s/4a-Sohle	16YEA31/R003	85	85
Abbau 8s/3. Sohle	15YER31/R004	67	67
Abbau 8s/3a-Sohle	13YEA32/R003	68	68
Kalilager 2. Sohle	--	100	90 - 100
Kalilager -284 mNN	--	100	90 - 100
Abbau 8s/2. Sohle	12YER31/R004	65	65
Abbau 8s/2a-Sohle	10YEA32/R003	70	67
Kalilager 1. Sohle	--	100	90 - 100

Die in [P 215] für ‚Abbaue 8 südlich‘ der 2., 3a-, 3. und 4a-Sohle aufgeführten Verfüllgrade stimmen mit den Angaben in [P 220] überein. Der in [P 220] und im ERAM-HIS für Abbau 8s der 2a-Sohle angegebene Verfüllgrad liegt bei 67 % und damit geringfügig unterhalb des in [P 215] mit 70 % angenommenen Wertes.

Der für die Kalilager angenommene Verfüllgrad von 100 % liegt an der oberen Grenze der gemäß [P 220] mit einer Bandbreite von 90 % – 100 % angenommenen ‚bestmöglichen‘ Verfüllung von Grubenhöhlräumen der Verfüllkategorie IV.

In [P 220] sind die in der Schnittpur liegenden Strecken der 4. Sohle als sog. „zusätzliche Streckenverfüllung“ gekennzeichnet. Dies bedeutet, dass die Strecken möglichst vollständig verfüllt werden sollen. Auch für diese Grubenbaue liegt der in [P 215] angenommene Verfüllgrad von 100 % an der oberen Grenze der in [P 220] für diese Strecken nicht quantifizierten Bandbreite, die einer ‚bestmöglichen‘ Verfüllung entspricht.

#### 4.1.2. Standsicherheits- und Integritätsnachweis für den Zentralteil [P 243]

Im „Standsicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers: Zentralteil Bartensleben“ [P 243] werden (zweidimensionale) geomechanische Modellrechnungen für die Schnittspuren ZTN-3.1, ZTS-3.1 und ZT-3.3 durchgeführt. Die hierbei angesetzten Verfüllgrade der verschiedenen Grubenhohlräume, die sich auf diesen Schnittspuren befinden, sind in den Tabellen 4.1-2 bis 4.1-4 wiedergegeben. Zum Vergleich sind auch in [P 220] angegebenen Verfüllgrade dieser Grubenhohlräume dargestellt.

Die Werte stimmen i. d. R. überein, nur für die Grubenbaue Abbau 2s/3. Sohle, Abbau 3s/3. Sohle und Abbau 2s/2. Sohle im Modell ZTS-3.1 sind deutliche Abweichungen festzustellen. Dies ist angesichts der in [P 243] Kapitel 3.4 enthaltenen Aussage, dass die dort berücksichtigten Verfüllgrade der Abbaue durch die Unterlage [P 220] vorgegeben wurden, nicht nachvollziehbar.

Wir kommen zu folgender Empfehlung:

**E 9: Die bei den geomechanischen Modellrechnungen für das verfüllte Endlager im Schnitt ZTS-3.1 berücksichtigten Grubenhohlräume sollten den gleichen Verfüllgrad aufweisen wie im Verfüllkonzept vorgegeben. Die Unterlagen sollten entsprechend überarbeitet werden.**

Tabelle 4.1-2: Vergleich der Verfüllgrade von in [P 243] Modell ZTN-3.1 berücksichtigten Grubenhohlräumen mit den Angaben aus [P 220]

Abbau	Kennzeichnung	Verfüllgrad [%] gem. [P 243]	Verfüllgrad [%] gem. [P 220]
2n, 3a-Sohle	13YEA21/R002	100	100
3n, 3a-Sohle	13YEA22/R002	100	100
4n, 3a-Sohle	13YEA23/R002	100	100
3n, 2. Sohle	12YEA22/R002	100	100
2n, 2a-Sohle	10YEA22/R002	100	100
3n, 2a-Sohle	10YER23/R002	100	100
2n, 1. Sohle	09YER21/R002	100	100
3n + 4n, 4. Sohle	17YEA27/R002 + R003	95	95
4n, 4a-/3. Sohle	16YEA25/R002	97	97
1bn, 4a-Sohle	16YEA21/R006	95	95
2n, 3. Sohle	15YEA23/R002	93	93
3n, 3. Sohle	15YER22/R002	84	84
4n, 2. Sohle	12YEA23/R002	64	64
2n, 2. Sohle	12YER22/R002	87	87
3n, 1.Sohle	09YEA23/R002	95	95

Tabelle 4.1-3: Vergleich der Verfüllgrade von in [P 243] Modell ZTS-3.1 berücksichtigten Gruben-  
 hohlräumen mit den Angaben aus [P 220]

Abbau	Kennzeichnung	Verfüllgrad [%] gem. [P 243]	Verfüllgrad [%] gem. [P 220]
<b>2s, 3. Sohle</b>	<b>15YEA51/R002</b>	<b>100</b>	<b>81</b>
<b>3s, 3. Sohle</b>	<b>15YER51/R002</b>	<b>100</b>	<b>90</b>
3s, 3a-Sohle	13YEA52/R002	100	100
2s, 3a-Sohle	13YEA51/R002	100	100
4s, 3a-Sohle	13YEA53/R002	100	100
3s, 2. Sohle	12YEA52/R002	100	100
<b>2s, 2. Sohle</b>	<b>12YEA51/R002</b>	<b>100</b>	<b>81</b>
2s, 2a-Sohle	10YEA51/R002	100	100
3s, 2a-Sohle	10YEA52/R002	100	100
2s, 1. Sohle	09YER51/R002	100	100
3s, 4. Sohle	17YEA56/R004	95	95
2s, 4. Sohle	16YER51/R004*	83	83
1s, 4. Sohle	16YER51/R003	84	84
4s, 4a-/3. Sohle	16YEA52/R002**	98	98
2bs, 4a-Sohle	16YEA51/R006	95	95
1bs, 4a-Sohle	16YEA51/R005	95	95
4s, 2. Sohle	12YER52/R002	87	87
4s, 2a-Sohle	10YEA53/R002	72	72
3s, 1. Sohle	09YEA51/R002	95	95

\* in [P 243] als 16YEA51/R004 bezeichnet

\*\* in [P 243] als 16YEA52/R003 bezeichnet

Tabelle 4.1-4: Vergleich der Verfüllgrade von in [P 243] Modell ZT-3.3 berücksichtigten Gruben-  
 hohlräumen mit den Angaben aus [P 220]

Abbau	Kennzeichnung	Verfüllgrad [%] gem. [P 243]	Verfüllgrad [%] gem. [P 220]
1an, 3a-Sohle	13YEA21/R003	100	100
3n, 3a-Sohle	13YEA22/R002	100	100
1an, 4. Sohle	16YEA21/R003	95	95
3n, 3. Sohle	15YER22/R002*	84	84
1a, 2. Sohle	12YER22/R002	84	84
1a, 2a-Sohle	10YEA22/R003	95	95
1a, 1. Sohle	09YER21/R003	95	95

\* in [P 243] als 15YER22/R003 bezeichnet

### **4.1.3. Standsicherheits- und Integritätsnachweis für das Nordfeld [P 234]**

Im „Standsicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers: Grubenteil Nordfeld“ [P 234] werden u. a. dreidimensionale geomechanische Modellrechnungen (Modell NF3D) durchgeführt. Die hierbei angesetzten Verfüllgrade der verschiedenen Grubenhohlräume, die sich in dem modellierten Grubenteil befinden, sind in Tabelle 4.1-5 wiedergegeben. Zum Vergleich sind auch die in [P 220] angegebenen Verfüllgrade dieser Grubenhohlräume dargestellt. Abweichungen der modellierten Verfüllgrade von den Planvorgaben sind gemäß [P 234] Kapitel 3 auf die Diskretisierung zurückzuführen.

Die Abweichungen der Verfüllgrade betragen bei den einzelnen Grubenbauen bis zu 3 Vol.-%. Allerdings wurde [P 234] auf der Basis der zum Zeitpunkt der Modellierung geltenden Verfüllplanung erstellt, die mit [P 220] zum Teil geändert wurde. Diese Abweichungen gehen aus dem Vergleich der Spalten 4 und 5 der Tabelle 4.1-5 hervor.

Tabelle 4.1-5: Vergleich der Verfüllgrade von in [P 234] Modell NF3D berücksichtigten Grubenhohlräumen mit den Angaben aus [P 220]

<b>Abbau</b>	<b>Kennzeichnung</b>	<b>Verfüllgrad [%] gem. [P 234]</b>	<b>bei Erstellung von [P 234] geplanter Verfüllgrad</b>	<b>Verfüllgrad [%] gem. [P 220]</b>
4, 4a-Sohle	16YEA22/R005	91,5	90	90
3, 4a-Sohle	16YEA22/R004	92,2	94	94
5, 4a-Sohle	16YEA22/R003	85,2	86	86
3s, 3. Sohle	15YER22/R006	90	90	89
7, 3. Sohle	15YER22/R005	76,3	76	76
7n, 1. Sohle	09YER21/R005	93,4	95	95
3, 2. Sohle	12YER22/R005	96,5	95	95
7s, 1. Sohle	09YER21/R004	95,7	95	95
7, 2. Sohle	12YER22/R004	97,4	95	95
7a, 1. Sohle	09YER21/R006	92	93	95
7, 4a-Sohle	16YEA22/R002	0	0	0

## **4.2. Konsistenz mit den Langzeitsicherheitsnachweisen**

### **4.2.1. Angaben in [P 220] zu den Anforderungen aus den LSA an den Verfüllgrad**

In Kapitel 3 des Verfüllplans [P 220] wird angegeben, dass in den LSA die Sicherheitsnachweise geführt werden, indem für die Verfüllung der unterschiedlichen Grubenbaue bzw. Feldesteile des ERAM bestimmte Verfüllgrade und daraus resultierende offene Resthohlraumvolumina angenommen und berücksichtigt werden. Es wird u. a. angegeben:

„Wichtigstes Merkmal des Stilllegungskonzepts ist nach  $1/2^{\beta^4}$ , dass die bestehenden Hohlräume des gesamten Grubengebäudes weitgehend mit einem fließfähigen Salzbeton verfüllt werden (...).“

„So wird von einer durchschnittlichen Verfüllung der einzelnen Feldesteile von jeweils ca. 65 % und von einer bestmöglichen Verfüllung der abgebauten Kalilagerteile zur Minimierung von Umlöseprozessen ausgegangen. (...)

Eine Verfüllung der unterhalb der 4. Sohle im Südfeld des Grubenfeldes Bartensleben gelegenen Grubenbaue, die sogenannten Unterwerksbaue (außer den Einlagerungsgrubenbauen Abbaue 1, 2 und 3, die zu Beginn der Stilllegungsphase bereits verfüllt sind) ist entsprechend der Langzeitsicherheitsanalyse nicht erforderlich und nicht vorgesehen.“

In [P 220] Kapitel 4 wird zum mittleren feldesteilen Verfüllgrad ausgeführt:

„(Aus den Langzeitsicherheitsanalysen) wird hergeleitet, dass die Grubenbaue insgesamt mit einem mittleren Verfüllgrad von ca. 65 % pro Feldesteil verfüllt werden sollten.“

Zur Verfüllung von Unterwerksgrubenbauen ist [P 220] Kapitel 5 zu entnehmen:

„Die Einlagerungsgrubenbaue sollen möglichst zu 100 % verfüllt werden. Davon ausgenommen sind Einlagerungsgrubenbaue, die zu den Unterwerksbauen im Südfeld der Grube Bartensleben zählen, da deren Verfüllung nicht erforderlich ist (s. Kap. 3).“

Nachfolgend werden die in den LSA enthaltenen Angaben zu den angesetzten Verfüllgraden wiedergegeben (Kapitel 4.2.2 und 4.2.3) und im Hinblick auf die Frage bewertet, ob diese Angaben übereinstimmen und ob bzw. welche Anforderungen daraus resultieren (Kapitel 4.2.4).

#### **4.2.2. Angaben zu dem in der LSA [P 277] angesetzten Verfüllgrad**

In der mit dem Programm PROSA durchgeführten Langzeitsicherheitsanalyse [P 277] der AF-Colenco AG wird in Kapitel 2 das der Sicherheitsanalyse zugrunde liegende Verfüllkonzept für die Stilllegung des ERAM wie folgt beschrieben:

„Das wesentliche Merkmal des Verfüllkonzepts ist, dass eine Vielzahl von Hohlräumen der Grubengebäude sowie ausgewählte Streckenabschnitte und vertikale Grubenbaue weitgehend mit einem fließfähigen Salzbeton derart verfüllt werden, dass

- die gebirgsmechanische Stabilität des Gesamtsystems langfristig gesichert ist,
- die Konvergenz des Grubengebäudes behindert wird,
- die Bewegung von Lösung in den Grubengebäuden generell eingeschränkt wird,
- gewisse Strecken und Gesenke mit erhöhtem technischen Aufwand verfüllt sind und eine spezielle hydraulische Barriere (Abdichtung) gegen den Zutritt von Salzlösung in die Einlagerungsgrubenbaue sowie den Austritt von Fluiden aus denselben bilden,

---

<sup>34</sup> Bei diesen Unterlagen handelt es sich um die Langzeitsicherheitsanalysen [P 189] und [P 190], die durch die derzeit aktuellen Fassungen [P 277] und [P 278] ersetzt wurden.

- das Volumen zutretender Lösungen und damit auch das Ausmaß von Auf- und Umlösungsprozessen begrenzt werden.“.

Es wird angegeben, dass für den Langzeitsicherheitsnachweis die in [P 220] dargestellten Verfüllmaßnahmen zugrunde gelegt werden mit folgenden Ausnahmen:

- die Unterwerksbaue im West- und im Südfeld und insbesondere die querschlägigen Verbindungen auf der -420 mNN-Sohle (5. Sohle), der -454 mNN-Sohle, der -461 mNN-Sohle und der -475 mNN-Sohle (6. Sohle), die als nicht verfüllt unterstellt werden, sowie
- die Verbindung des Untertage-Messfeldes (UMF) zum Ostquerschlag -372 mNN-Sohle (Zufahrt), die als firstbündig verfüllt betrachtet wird.

Im Zusammenhang mit der Herleitung der feldspezifischen geometrischen Parameter wird in Anhang D Kapitel D.3 ausgeführt, dass die Volumenangaben zu den Einlagerungsbereichen dem HIS des ERAM (Revisionsstand 02 vom 09.09.2003) entstammen. In der nachfolgenden Tabelle 3.1-1 sind die aus [P 277] Anhang D entnommenen und bei der LSA berücksichtigten Hohlräumvolumina und Verfüllgrade zusammengestellt.

Tabelle 4.2-1: Modellparameter PROSA: Volumen- und Verfüllangaben (aus [P 277] Anhang D)

Feldesteil	Aufgefahrenes Hohlraum- volumen [m³]	Altversatz- volumen [m³]	Verfüll- grad [%]	Verfüll- volumen [m³]	Zusätzl. Ver- füllvolumen [m³]	Rest- hohlraum [m³]
EH West-/Südfeld	188.579	161.568	90,2	170.189	8.621	18.390
Rest-ELB West-/Südfeld	1.142.827	343.499	71,5	817.039	473.540	325.788
EH Ostfeld	53.429	19.879	100,0	53.429	33.550	0
Rest-ELB Ostfeld	253.257	3.7431	74,7	189.295	151.864	63.962
übrige Grube Bartensleben	4.477.822	392.914	80,2	3.589.862	3.196.948	887.962
übrige Grube Marie	2.599.739	1.516.140	79,8	2.075.708	559.568	524.031
<b>ERAM gesamt</b>	<b>8.715.653</b>	<b>2.471.431</b>	<b>79,1</b>	<b>6.895.522</b>	<b>4.424.091</b>	<b>1.820.133</b>

EH = Einlagerungsgrubenbaue

Rest-ELB = Einlagerungsbereich (ELB) - Einlagerungsgrubenbaue (EH)

### 4.2.3. Angaben zu dem in der LSA [P 278] angesetzten Verfüllgrad

In der von der GRS mit dem Rechenprogramm EMOS erstellten Langzeitsicherheitsanalyse [P 278] wird in Kap. 5.3.1 hinsichtlich des Umfangs der Versatzeinbringung auf den Verfüllplan [P 220] verwiesen. Die bei der Modellierung angesetzten Material- und Hohlraumvolumina werden in den Tabellen 5.2 und 5.3 in [P 278] angegeben. Sie sind in den nachfolgenden Tabellen 4.2-2 und 4.2-3 zusammengestellt und wurden von uns durch die aus den Werten ‚Volumen/unverfüllt‘ und ‚Volumen/Summe‘ berechneten Verfüllgrade ergänzt.

Tabelle 4.2-2: Modellparameter EMOS: Volumenangaben für Einlagerungsgrubenbaue in [m<sup>3</sup>]  
 (aus [P 278], ergänzt um die von uns aus diesen Angaben berechneten Verfüllgrade)

		Südfeld	Westfeld	Ostfeld	Nordfeld	Zentralteil	Summe
Volumen	Abfall fest	1.885	18.668	6.138	1.701	133	28.525
	BFA mit Abfall	8.234	-	-	-	24	8.258
	Salzgrus	93.458	11.704	13.741	-	32.243	151.146
	BFA	12.098	15.521	-	-	150	27.769
	Salzbeton	3.013	5.608	33.550	5	30.393	72.569
	unverfüllt	16.583	1.807	-	430	3.293	22.113
	Summe	135.271	53.308	53.429	2.136	66.236	310.380
Hohlraum	im Abfall fest	4.149	9.420	3.206	1.107	166	17.988
	in BFA mit Abfall						
	im Salzgrus	37.383	4.682	5.496	-	12.897	60.458
	in BFA	4.476	5.743			56	10.275
	unverfüllt	16.538	1.807	-	430	3.293	22.113
	Summe	62.591	21.652	8.702	1.537	16.352	110.834
<i>Verfüllgrad</i>		<i>87,7 %</i>	<i>96,6%</i>	<i>100 %</i>	<i>79,9 %</i>	<i>95,0 %</i>	<i>92,9 %</i>

Tabelle 4.2-3: Modellparameter EMOS: Volumenangaben für andere Grubenbaue in [m<sup>3</sup>]  
 (aus [P 278], ergänzt um die von uns aus diesen Angaben berechneten Verfüllgrade)

		Südfeld	Westfeld	Ostfeld	sonstige Restgrube Bartensleben	sonstige Restgrube Marie	Summe
Volumen	Versatz	330.179	13.320	37.431	358.663	1.516.140	2.255.733
	Salzbeton	489.164	15.269	151.864	3.245.362	771.046	4.672.705
	unverfüllt	294.393	502	63.962	805.425	312.553	1.476.835
	Summe	1.113.736	29.091	253.257	4.409.450	2.599.739	8.405.273
Hohlraum	im Versatz	132.072	5.328	14.972	143.465	606.456	902.293
	unverfüllt	294.393	502	63.962	805.425	312.553	1.476.835
	Summe	426.465	5.830	78.934	948.890	919.009	2.379.128
<i>Verfüllgrad</i>		<i>73,6 %</i>	<i>98,3 %</i>	<i>74,7 %</i>	<i>81,7 %</i>	<i>88,0 %</i>	<i>82,4 %</i>



In [P 278] Kapitel 5 werden an diversen Stellen „Verfüllgrade“ für Einlagerungs- und sonstige Grubenbaue verschiedener Grubenbereiche genannt. Diese Werte geben allerdings lediglich den noch zu verfüllenden Anteil des vor Beginn der Maßnahmen (noch) vorhandenen Hohlräumvolumens an und nicht das Verhältnis von Volumen Füllmaterial (Abfälle, Altversatz, Versatz) zu ehemaligem Gesamt(Auffahr-)volumen des Grubenhohlraums. Daher werden diese Angaben hier nicht weiter berücksichtigt.

#### **4.2.4. Bewertung**

In den LSA [P 277] und [P 278] werden keine Anforderungen an den notwendigen Verfüllgrad für die Grubenhohlräume des ERAM hergeleitet. In den LSA wurden lediglich die in der Verfüllplanung [P 220] geplanten Verfüllmaßnahmen berücksichtigt. In der LSA [P 277] wird zu diesem mittleren Verfüllgrad angegeben, dass „zur Begrenzung des offenen Hohlraumvolumens bei Lösungszutritt (...) ein mittlerer Verfüllgrad von 65 % je Feldesteil geplant“ ist. Es erfolgten in den LSA jedoch keine gezielten Analysen zur Herleitung erforderlicher Verfüllgrade.

Der in [P 220] Kapitel 4 enthaltene Aussage, dass aus den LSA „hergeleitet“ werde, dass die Grubenbaue insgesamt mit einem mittleren Verfüllgrad von 65 % pro Feldesteil verfüllt werden sollen, stimmen wir daher nicht zu. Der in [P 220] genannte mittlere feldesweise Verfüllgrad von 65 % ist u. E. das Ergebnis der Konzeptplanung, d. h. eine planerische Vorgabe, die bei den für die LSA getroffenen Annahmen berücksichtigt wurde. In den hier geprüften Unterlagen wird die Grundlage dieser Festlegung nicht erläutert. Insbesondere wird nicht deutlich, inwiefern ein mittlerer Verfüllgrad von 65 % den in [P 220] genannten Anforderungen eines ‚möglichst hohen Verfüllgrades des Grubenhohlräume‘ und einer ‚weitgehenden Verfüllung der bestehenden Hohlräume des gesamten Grubengebäudes‘ gerecht wird.

Die in [P 220] Kapitel 3 enthaltene Aussage, dass eine Verfüllung der Unterwerksbaue im Südfeld „entsprechend der Langzeitsicherheitsanalyse nicht erforderlich“ sei, ist ebenfalls unpräzise. Bei den LSA wurde lediglich die planerische Vorgabe einer Nicht-Verfüllung der Unterwerksbaue gemäß [P 220] berücksichtigt. Es wurde jedoch nicht modelltechnisch untersucht, wie sich eine Verfüllung der Unterwerksbaue auf die Einhaltung der Zielwerte der Stilllegung auswirkt. Damit kann aus der Langzeitsicherheitsanalyse des BfS – vorbehaltlich ihrer inhaltlichen Richtigkeit – lediglich abgeleitet werden, dass die Nicht-Verfüllung mit den Dosisreferenzwerten der SSK verträglich ist, nicht aber, dass sie auch dem Optimierungsgebot entspricht.

Im Folgenden prüfen wir, ob die Annahmen in den LSA zu den Verfüllgraden mit der Verfüllplanung in [P 220] übereinstimmen. In der nachfolgenden Tabelle 4.2-4 sind dazu die aus den Angaben in [P 277] und [P 278] zu den Verfüllgraden diverser Grubenbereiche (vgl. Kapitel 4.2.2 und 4.2.3) den entsprechenden Angaben aus [P 220] gegenübergestellt.

Es wird deutlich, dass die Angaben aus [P 278] und [P 220] sehr gut übereinstimmen. Die Werte aus [P 277] zeigen Abweichungen für den restlichen Einlagerungsbereich West-/Südfeld, für die übrigen Grubenhohlräume Bartensleben und insbesondere für die übrigen Grubenhohlräume Marie, die jeweils auf die Annahme geringerer zusätzlicher Versatzvolumina zurückzuführen sind. Daraus resultiert eine entsprechende Abweichung für das gesamte ERAM.

Tabelle 4.2-4: Gegenüberstellung der Verfüllgrade aus den LSA [P 277, P 278] und dem Verfüllplan [P 220]

	[P 277]	[P 278]	[P 220]
Einlagerungsgrubenbaue (EH) West-/Südfeld	90,2	90,2	90,2
restlicher Einlagerungsbereich West-/Südfeld	71,5	74,2	74,2
Einlagerungsgrubenbaue (EH) Ostfeld	100	100	100
restlicher Einlagerungsbereich Ostfeld	74,7	74,7	74,7
übrige Grubenhohlräume Bartensleben	80,2	81,7	81,9
übrige Grubenhohlräume Marie	79,8	88	88
ERAM gesamt	79,1	82,8	82,8

Zu den Abweichungen für die einzelnen Grubenbereiche merken wir an:

- In [P 278] und [P 220] wird für den restlichen Einlagerungsbereich West-/Südfeld ein um ca. 31.000 m<sup>3</sup> größeres zusätzliches Einlagerungsvolumen angegeben als in [P 277].

In [P 277] wird angegeben, es werde abweichend von [P 220] unterstellt, dass die Unterwerksbaue im West- und Südfeld und insbesondere die querschlägigen Verbindungen auf der -420 mNN-Sohle (5. Sohle), der -454 mNN-Sohle, der -461 mNN-Sohle und der -475 m NN-Sohle (6. Sohle) nicht verfüllt sind.

Es wurde daher von uns geprüft, ob die o. g. Unterschiede im zusätzlichen Versatzvolumen ggf. auf die genannten abweichenden Annahmen zurückzuführen sind. Die Angaben zur Berücksichtigung der Unterwerksgrubenbaue sind allerdings nicht präzise. So wird nicht deutlich, ob unter der Annahme „nicht verfüllt“ zu verstehen ist, dass in den Grubenhohlräumen keinerlei Versatz enthalten ist oder dass dort lediglich kein zusätzlicher Versatz eingebracht wird (d. h. es ist lediglich der Altversatz vorhanden). Die exakte Abgrenzung der Unterwerksbaue zu den übrigen Grubenbauen wird nicht genannt. Zudem sollen die in [P 277] als nicht verfüllt unterstellten querschlägigen Verbindungen auch nach den Angaben im ERAM-HIS nicht verfüllt werden und weisen zudem nur ein Altversatzvolumen von ca. 100 m<sup>3</sup> auf.

Die Unterschiede in den zusätzlichen Einlagerungsvolumina lassen sich damit u. E. nicht aufklären. Es ist zu vermuten, dass die Ursache dieser Unterschiede in der verwendeten Datenbasis liegt, da gemäß [P 277] Anhang D Kapitel D.3 Volumenangaben zu den Einlagerungsbereichen dem HIS des ERAM (Revisionsstand 02 vom 09.09.2003) entnommen wurden, während in [P 220] als Datenbasis das HIS des ERAM mit Stand 30.06.2002 angegeben wird.

- Die Ursache der Abweichungen für das übrige Grubengebäude Bartensleben, für das in [P 277] ein um nahezu 80.000 m<sup>3</sup> geringeres zusätzliches Versatzvolumen als in [P 220] und [P 278] angegeben wird, ist nicht ersichtlich. Ggf. hängt dies mit Planungsänderungen hinsichtlich der Verfüllmaßnahmen der der bGZ zusammen.

In [P 277] wird allerdings auch angegeben, dass die Verbindung des Untertagemessfeldes (UMF) zum Ostquerschlag der 372 mNN-Sohle (Zufahrt) im Unterschied zu [P 220] als firstbündig verfüllt betrachtet wird. Bei der ‚Zufahrt‘ zum UMF handelt es sich u. E. um den Hohlraum 17YER52/R001 (Richtstrecke Untertagemessfeld), der gemäß HIS vollständig verfüllt werden soll. In [P 220] wird dazu entsprechend angegeben:

*„Das UMF umfasst die 3. südliche Richtstrecke (Zufahrt), das UMF I und das UMF II. (...) Das UMF wird mit einer weitgehenden Firstanbindung (...) verfüllt.“*

Es wird nicht deutlich, inwiefern die in [P 277] getroffenen Annahmen zum UMF Abweichungen zu den Angaben in [P 220] – wie in [P 277] angegeben – darstellen.

- Für die übrigen Gubenhohlräume Marie liegt das in [P 277] genannte zusätzliche Verfüllvolumen um ca. 210.000 m<sup>3</sup> unter den Angaben in [P 220] bzw. [P 278]. Die Ursache dieser Abweichung ist nicht ersichtlich.

Nach den o. g. Abweichungen wurden bei der mit dem Programm PROSA durchgeführten LSA [P 277] z. T. geringere Verfüllgrade angesetzt, als gemäß der Verfüllplanung vorgesehen sind. Dies steht nicht im Einklang mit der in [P 220] enthaltenen Begründung für die Verwendung veralteter Daten bei der Hohlraum- und Verfüllbilanzierung, dass diese Datenbasis zur Wahrung der Konsistenz zu der in der mit dem Programm PROSA durchgeführten LSA verwendet werde (siehe dazu auch Abschnitt 5.1).

Es ist somit festzuhalten, dass in den LSA und in der Verfüllplanung weitgehend übereinstimmende, im Detail jedoch abweichende Annahmen zu den Verfüllmaßnahmen in den LSA berücksichtigt werden.

Wir kommen zu folgender Empfehlung:

**E 10: Bei einer (aus anderen Gründen erforderlichen) Überarbeitung der LSA und des Verfüllplans sollten die Angaben zu den Verfüllgraden aufeinander abgestimmt werden.**

## **5. PLAUSIBILITÄT, KONSISTENZ UND NACHVOLLZIEHBARKEIT DES VERFÜLLPLANS [P 220]**

In diesem Kapitel wird geprüft und bewertet, ob die in der Unterlage [P 220] enthaltenen Angaben zu den Verfüllmengen plausibel, konsistent und nachvollziehbar sind. Die Unterlage [P 220] wurde vom Antragsteller zwischenzeitlich zurückgezogen. Die Ergebnisse der Prüfung sollten im Rahmen der Überarbeitung dieser Unterlage berücksichtigt werden.

### **5.1. Konsistenz und Nachvollziehbarkeit**

Die Unterlage [P 220] stellt in der geprüften Fassung vom 15.12.2005 das Ergebnis der Konzeptplanung zur Verfüllung des ERAM dar.

Die in [P 220] Kapitel 8 enthaltenen Hohlraum- und Verfüllbilanzierungen basieren auf dem ERAM-HIS mit Stand vom 30.06.2002. Nach dem 30.06.2002 erfolgte Planungsänderungen hinsichtlich der Verfüllmaßnahmen werden in diesen Bilanzierungen nicht berücksichtigt<sup>35</sup>.

Die in den Ablaufplänen von [P 220] angegebenen Verfüllvolumina weichen im Detail deutlich von den Angaben in den Hohlraum- und Verfüllbilanzierungen von [P 220] ab, da dort Planungs- und sonstige Änderungen hinsichtlich der vorgesehenen Verfüllung berücksichtigt werden. Allerdings werden auch in den Ablaufplänen nicht alle zum Zeitpunkt der Unterlagenerstellung von [P 220] bekannten Änderungen<sup>36</sup> berücksichtigt.

Die Abweichungen zwischen den Hohlraum- und Verfüllbilanzierungen und den Angaben in den Ablaufplänen werden in [P 220] in folgenden Textkapiteln und Anhängen erläutert und begründet:

- Kapitel 1 (Einleitung),
- Kapitel 8 (Hohlraum- und Verfüllbilanz),
- Kapitel 12 (Verfüllreihenfolge für die Grubenbaue),
- Kapitel 15 (Ablaufplanung der infrastrukturellen Vorbereitung und der Verfüllung) und
- Anhang 13.5 (Erläuterung von Abweichungen in Hohlraum- und Verfüllvolumina).

Diese Abweichungen werden insbesondere mit Planungsänderungen gegenüber dem Stand 30.06.2002, Änderungen in den Ablaufplänen gegenüber dem Stand 30.06.2002 und der aus sicherheitstechnischen Gründen erforderlichen Verfüllung weiterer Grubenbaue begründet.

Neben diesen Abweichungen stimmen die textlichen Ausführungen von [P 220] z. T. nicht mit den planerischen Ausführungen (Verfüllbilanz und Ablaufplan) überein. So wird die aus sicherheitstechnischen Gründen erforderliche zusätzliche Verfüllung von Grubenbauen zwar in der textlichen Erläuterung der Verfüllreihenfolge (Kapitel 12.2) angegeben, ist in der Verfüllbilanz und in der Ablaufplanung jedoch noch nicht enthalten.

---

<sup>35</sup> Es wird jedoch die vorgezogene Verfüllung von Grubenbauen des Zentralteils im Rahmen der bGZ berücksichtigt.

<sup>36</sup> z. B. hinsichtlich der Verfüllung von Neuauffahrungen, der Herstellung temporärer Abdichtungen, der aus sicherheitsrelevanten Gründen erforderlichen zusätzlichen Verfüllung von Grubenbauen etc.

Die in [P 220] an diversen Stellen enthaltenen Erläuterungen zu den Abweichungen zwischen den Bilanzierungen und den Ablaufplänen sind aufgrund der Vielzahl der sich teilweise überschneidenden Angaben, der gewählten textlichen Formulierungen sowie der unklaren Verwendung von Schlüsselbegriffen unübersichtlich und erscheinen z. T. widersprüchlich. Beispielsweise bedarf es einiger Anstrengungen um zu klären, ob bzw. in welcher Form in [P 220] die Einbeziehung der Verfüllung der Abbaue 2s und 3s (3. Sohle) in die bGZ, die zum Zeitpunkt der Erstellung von [P 220] bereits bekannt war, umgesetzt wurde, d. h. ob die Verfüllung dieser Abbaue in den Bilanzierungen und Ablaufplanungen enthalten ist.

In [P 220] sind zu dieser Fragestellung folgende Aussagen enthalten:

- Gemäß Kapitel 1 wird *„die nunmehr festgelegte Einbeziehung der Abbaue 2s und 3s der 3. Sohle in die bGZ (...) in der vorliegenden Verfüllplanung noch nicht berücksichtigt (siehe Kap. 8).“*
- In Kapitel 8 wird diesbezüglich angegeben: *„Die im Rahmen der bGZ verfüllten Abbaue sind in der Tabelle (8-1) gesondert aufgeführt. Die Volumina der in diesem Verfüllplan noch nicht berücksichtigten Verfüllung der Abbaue 2s und 3s der 3. Sohle im Rahmen der bGZ sind zusätzlich getrennt angegeben.“*
- Kapitel 12: Es wird an mehreren Stellen in Kapitel 12 angegeben, dass die Verfüllung der Abbaue 2s und 3s der 3. Sohle im Rahmen der bGZ in der in Kapitel 12 sowie in den Anhängen 13 und 14 beschriebenen Verfüllreihenfolge nicht berücksichtigt wird, d. h., dass in diesen Anhängen noch von einer Verfüllung dieser Abbaue im Rahmen der Stilllegung ausgegangen wird.
- Am Ende von Kapitel 15 werden Abweichungen der in den Anhängen 15.1 bis 15.6 angegebenen Salzbetonvolumina von den in den Hohlraum- und Verfüllbilanzen in den Tabellen 8-1 bis 8-5 des Kap. 8 enthaltenen Angaben zum „zusätzlichen Versatzvolumen“ erläutert. Dazu wird u. a. ausgeführt:

*„Die nunmehr im Rahmen der bGZ im Zentralteil zusätzlich verfüllten Steinsalzabbaue 2s und 3s der 3. Sohle sind in den Ablaufplänen noch für die Stilllegung berücksichtigt, aber in den Hohlraum- und Verfüllbilanzen („im Rahmen der Stilllegung zu verfüllen“) nicht mehr enthalten. Dies führt zu einem wesentlich höheren Verfüllvolumen in den Ablaufplänen (ca. 59,7 Tm<sup>3</sup>).“*

Mit Ausnahme dieser letzten Angabe lassen alle vorherigen Aussagen aus unserer Sicht erwarten, dass die vorgezogene Verfüllung der Abbaue 2s und 3s der 3. Sohle nicht berücksichtigt wird, d. h., dass in [P 220] noch durchweg von einer Verfüllung dieser Abbaue im Rahmen der Stilllegung ausgegangen wird.

Diese Fragestellung lässt sich nur unter Verwendung der im Anhang von [P 220] enthaltenen Daten zur Verfüllung der Grubenhohlräume beantworten. Erst nach dem Vergleich der Werte in Anhang 2 mit den Werten in Tabelle 8-1 wird deutlich, dass die Verfüllung der Abbaue 2s und 3s der 3. Sohle in der Tabelle 8-1 nicht mehr für die Stilllegung angenommen wird. Der Aussage aus Kapitel 15, dass die Verfüllung dieser in den Hohlraum- und Verfüllbilanzen für die Stilllegung nicht mehr enthalten ist, kann daher gefolgt werden.

Diverse Angaben in [P 220], nach denen die Einbeziehung der Abbaue 2s und 3s der 3. Sohle in die bGZ „im Verfüllplan“ nicht berücksichtigt sei, scheinen jedoch im Widerspruch zu der vorstehend bewerteten Aussage zu stehen. Aus [P 220] geht allerdings nicht eindeutig hervor, was dort unter den Bezeichnungen „Verfüllplan“ bzw. „Verfüllplanung“ zu verstehen ist. Die Bezeichnungen werden in [P 220] nicht erläutert.

Da die Unterlage [P 220] den Titel ‚Verfüllplan zur Stilllegung des ERAM (...)‘ trägt, ist naheliegend, dass in [P 220] unter ‚Verfüllplan‘ die gesamte Unterlage [P 220] zu verstehen ist. Dies wird durch folgende Aussagen in [P 220] Kapitel 1 und Anhang 13.5 Punkt 3 gestützt:

*„Der vorliegende Verfüllplan stellt als Ergebnis der Konzeptplanung die Verfüllung des ERAM (...) dar.“*

*„(Es) wurden Grubenbaue als relevant identifiziert, deren Verfüllung erforderlich ist, jedoch im Verfüllplan in der Verfüllbilanz und in den Ablaufplänen der Verfüllung (Anhänge 13, 14 und 15) noch nicht berücksichtigt ist.“*

Allerdings ist die Aussage in [P 220] Kapitel 8

*„Die Volumina der in diesem Verfüllplan noch nicht berücksichtigten Verfüllung der Abbaue 2s und 3s der 3. Sohle im Rahmen der bGZ sind zusätzlich getrennt angegeben.“*

nur dann richtig, wenn dort mit ‚Verfüllplan‘ nicht die Unterlage [P 220] (in deren Kapitel 8 diese Berücksichtigung sehr wohl erfolgt), sondern die Planung von Verfüllablauf und -reihenfolge (als Teil von [P 220]) gemeint sein sollte.

In der gleichen Hinsicht ist die Verwendung der Bezeichnung ‚Verfüllplanung‘ unklar, wie z. B. in [P 220] Kapitel 1:

*„Die nunmehr festgelegte Einbeziehung der Abbaue 2s und 3s der 3. Sohle in die bGZ wird in der vorliegenden Verfüllplanung noch nicht berücksichtigt.“*

Erschwerend ist hier, dass auch die Datenblätter in Anhang 17 die Bezeichnung ‚Verfüllplanung‘ tragen. In diesem Anhang 17 ist die Einbeziehung der Abbaue 2s und 3s tatsächlich noch nicht berücksichtigt, d. h. es ist in Anhang 17 jeweils ein Datenblatt zur Verfüllung dieser Abbaue im Rahmen der Stilllegung vorhanden.

Zusätzlich zu der unklaren Definition dieser Begriffe sind auch die in [P 220] verwendeten Formulierungen z. T. nicht geeignet. Beispielsweise ist die in Kapitel 15 enthaltene Formulierung

*„Die Verfüllreihenfolge berücksichtigt nicht die im Rahmen der bGZ vorgezogene Verfüllung der Abbaue 2s und 3s.“*

hinsichtlich der beabsichtigten Aussage missverständlich.

Sie lässt sich wie folgt interpretieren:

- In der Verfüllreihenfolge wird die Verfüllung der Abbaue 2s und 3s der 3. Sohle nicht berücksichtigt, da sie im Rahmen der bGZ vorgezogen wurde und diese Abbaue daher bereits verfüllt sind.

– oder –

- In der Verfüllreihenfolge wird nicht berücksichtigt, dass die Verfüllung der Abbaue 2s und 3s der 3. Sohle bereits im Rahmen der bGZ vorgezogen erfolgte. Dies bedeutet, dass die Verfüllung dieser Abbaue in der Verfüllreihenfolge weiterhin vorgesehen ist, obwohl sie bereits im Rahmen der bGZ erfolgte.

Solche für das Verständnis der Verfüllplanung wesentliche Aussagen sollten eindeutig formuliert werden.

Zudem wird nicht erläutert, aus welchen Gründen die im Rahmen der Schachtverfüllung vorgesehenen Verfüllmaßnahmen in der Verfüllbilanzierung ([P 220] Tabellen 8-4 und 8-5) berücksichtigt sind, in der Ablaufplanung jedoch nicht. Dies wird in [P 220] Kapitel 15.1 zwar angegeben, jedoch weder dort noch im Anhang 13.5 begründet.

Hinsichtlich der Konsistenz und Nachvollziehbarkeit der in [P 220] enthaltenen Angaben bzgl. der Hohlraum- und Verfüllvolumina kommen wir daher zu folgender Einschätzung:

- Die gewählte Darstellung mit in den verschiedenen Berichtsteilen und -anhängen voneinander abweichenden Abgaben und diversen textlichen Erläuterungen dieser Abweichungen bzw. Unterschiede sehen wir als nicht geeignet an. Die Unterlage [P 220] sollte übereinstimmende und auf der gleichen Grundlage basierende Angaben in den Verfüllbilanzen und in der Ablaufplanung aufweisen. Wir sehen es nicht als vertretbar an, auf die Datenaktualität zu verzichten, um eine Konsistenz mit der LSA herzustellen<sup>37</sup>. Dies wäre stattdessen durch eine Aktualisierung der LSA oder durch eine dort aufzunehmende Erläuterung zu den Abweichungen zwischen [P 220] und LSA einschließlich einer Darstellung der Auswirkungen dieser Abweichungen auf die Ergebnisse der LSA zu lösen.
- Die textliche Darstellung in [P 220] ist z. T. missverständlich und nicht nachvollziehbar. Die Bedeutung maßgeblicher Bezeichnungen wie ‚Verfüllplan‘ und ‚Verfüllplanung‘ und die Verwendung dieser Bezeichnungen im Text sind unklar.

Wir kommen zu folgender Empfehlung:

**E 11: Im Rahmen der Aktualisierung der Unterlage [P 220] sollte auf exakte Formulierungen und auf die unmissverständliche Verwendung relevanter Begriffe wie ‚Verfüllplan‘ und ‚Verfüllplanung‘ geachtet werden.**

---

<sup>37</sup> Diese Konsistenz ist zudem nicht vollständig gegeben, da die Angaben in der LSA von [P 220] z. T. abweichen (siehe dazu Abschnitt 4.2).

## **5.2. Plausibilität der Hohlräum- und Verfüllbilanzen**

Die in [P 220] Kapitel 8 angegebenen Hohlräum- und Verfüllbilanzen wurden auf der Basis der Anhänge 2 bis 5 von [P 220] sowie der im ERAM-HIS angegebenen Hohlräum- und Verfülldaten erstellt. Die Daten des ERAM-HIS stellen den Stand vom 30.06.2002 dar und enthalten daher nicht die nach diesem Stand erfolgten Planungsänderungen bezüglich der Verfüllung und Zuordnung von Grubenbauen. Wie in Kapitel 5.1 dargestellt wird die nachträgliche Einbeziehung der Abbaue 2s und 3s der 3. Sohle in die bGZ allerdings bereits berücksichtigt, d. h., dass die Verfüllung dieser Abbaue nicht mehr im Rahmen der Stilllegung vorzunehmen ist.

Nachfolgend werden die Hohlräum- und Verfüllbilanzen aus [P 220] Kapitel 8 dargestellt und bewertet. Bei der tabellarischen Darstellung der Bilanzen werden Angaben, zu denen Klärungsbedarf besteht und die in der Bewertung zu der jeweiligen Bilanz betrachtet werden, mittels Fußnoten gekennzeichnet.

### **5.2.1. Steinsalzabbaue Grubenfeld Bartensleben**

In [P 220] Kapitel 8.1 ist die Hohlräum- und Verfüllbilanz für die Steinsalzabbaue des Grubenfeldes Bartensleben enthalten (vgl. Tabelle 5.2-1). Die im Rahmen der bGZ verfüllten Abbaue sind gesondert aufgeführt. Die Volumina der im Rahmen der bGZ verfüllten Abbaue 2s und 3s der 3. Sohle sind zusätzlich getrennt angegeben.

Unter ‚andere Steinsalzabbaue‘ sind solche Abbaue zu verstehen, die in der Auflistung in [P 220] Anhang 3 nicht vorhanden sind und die

- jeweils ein geringes aufgefahrenes Hohlräumvolumen aufweisen und zusammen mit Strecken und Kalilagerteilen verfüllt werden,
- zu den Unterwerksgrubenbauen des Südfeldes zählen und nicht verfüllt werden oder
- zu den Einlagerungsabbauen 1, 2 und 3 des Südfeldes gehören, die zu Beginn der Verfüllmaßnahmen als verfüllt angenommen werden.

#### Bewertung

Die Angaben in der Zeile 10 (*‚davon im Rahmen der bGZ verfüllt‘*) geben den Stand der Berichtslegung (2005) wieder und können somit nicht dem nach 2005 erweiterten und tatsächlich bei der bGZ erreichten Umfang entsprechen. Gemäß der Internetseite des BMU<sup>38</sup> wurden bei der bGZ einschließlich Abbau 4 Süd der 3./4a-Sohle insgesamt ca. 935.000 m<sup>3</sup> Salzbeton eingebracht, d. h. über 210.000 m<sup>3</sup> mehr als in [P 220] Tabelle 8-1 Spalte 6 angegeben ist.

Die in [P 220] Tabelle 8-1 dargestellte Bilanz ist nicht schlüssig:

- Der in der Zeile 10 (*‚davon im Rahmen der bGZ verfüllt‘*) Spalte 7 angegebene Wert ist unter Berücksichtigung der in den vorhergehenden Zeilen enthaltenen Abhängigkeiten nicht nachvollziehbar. Er stellt nicht das Resthohlräumvolumen der im Rahmen der bGZ verfüllten Grubenhohlräume dar (das den Wert 17.217 annehmen müsste), sondern das nach der bGZ

<sup>38</sup> <http://www.bmu.de/themen/atomenergie-strahlenschutz/atomenergie-ver-und-entsorgung/endlagerung/endlager-fuer-radioaktive-abfaelle-morsleben-eram/>; Stand 01.04.2012



verbleibende offene Hohlräumvolumen. Für diese Angabe ist in der Struktur der Tabelle 8-1 keine Platzierung möglich, so dass beispielsweise eine Angabe mittels Fußnote erfolgen sollte.

- In der Zeile 12, die sich auf die noch umzusetzende Verfüllung im Rahmen der Stilllegung bezieht, werden in den Spalten 2, 3 und 7 nicht die für die Stilllegung geltenden Werte angegeben, sondern die Werte für die gesamte Verfüllung der Steinsalzabbau Bartensleben (d. h. einschließlich bGZ) aus Zeile 9 wiederholt. Diese Angaben sehen wir als nicht geeignet an. Nach unserem Verständnis müssten hier die Werte 4.239.930, 470.321 und 1.008.490 stehen.

Die in der Zeile 11 der Tabelle (*„davon in der Verfüllplanung nicht für die bGZ berücksichtigt (Abbaue 2s und 3s, 3. Sohle)“*) ausgewiesenen Volumina fließen nicht in die Bilanzierung ein, sondern sind in den Werten der Zeile 10 bereits enthalten (siehe dazu Abschnitt 5.1 des vorliegenden Berichts). Dies sollte zur leichteren Lesbarkeit der Tabelle eindeutig angegeben werden.

Tabelle 5.2-1:      Hohlraum- und Verfüllbilanz für die Steinsalzabbau im Grubenfeld Bartensleben  
 (aus [P 220], Tabelle 8-1)

	Aufgefahrenes Hohlraum- volumen [m <sup>3</sup> ]	Altversatz- volumen [m <sup>3</sup> ]	Verfüll- grad [%]	Verfüll- volumen [m <sup>3</sup> ]	Zusätzl. Ver- füllvolumen [m <sup>3</sup> ]	Rest- hohlraum [m <sup>3</sup> ]
Südfeld	651.398	111.817	66,0	429.850	318.033	221.548
Nordfeld	1.001.214	38.899	85,0	851.288	812.389	149.926
Zentralteil	1.677.149	128.356	89,4	1.498.794	1.370.438	178.355
Südostfeld	1.225.567	32.935	67,7	829.346	796.411	396.221
Ostfeld	282.542	56.857	77,8	219.918	163.061	62.624
Gesamt	4.837.870	368.864	79,2	3.829.196	3.460.332	1.008.674
andere Steinsalzabbau	152.624	113.421	88,8	135.591	22.170	17.033
Summe Steinsalzabbau Bartensleben	4.990.494	482.285	79,4	3.964.787	3.482.502	1.025.707
davon im Rahmen der bGZ verfüllt	750.564	11.964		733.347	721.383	3.786.826 <sup>1</sup>
davon in der Verfüll- planung nicht für die bGZ berücksichtigt (Abbaue 2s u. 3s, 3. Sohle)	72.770 <sup>2</sup>	1.770 <sup>2</sup>		61.443 <sup>2</sup>	59.673 <sup>2</sup>	
<b>im Rahmen der Stilllegung zu verfüllen</b>	<b>4.990.494<sup>3</sup></b>	<b>482.285<sup>3</sup></b>		<b>3.231.440</b>	<b>2.761.119</b>	<b>1.025.707<sup>3</sup></b>

<sup>1</sup> Wert entspricht dem offenen Hohlräumvolumen nach der bGZ und nicht dem an dieser Stelle zu erwartenden Resthohlraum der im Rahmen der bGZ verfüllten Grubenbaue.

<sup>2</sup> bereits in den Werten in Zeile 10 (*„davon im Rahmen der bGZ verfüllt“*) enthalten

<sup>3</sup> Wiederholung der Werte aus Zeile 9, die jedoch nicht nur für die im Rahmen der Stilllegung zu verfüllenden Grubenhohlräume gelten.

### 5.2.2. Kalilagerteile der Grubenfelder Bartensleben und Marie

In [P 220] Kapitel 8.2 sind die Hohlraum- und Verfüllbilanzen für die Kalilagerteile der Grubenfelder Bartensleben und Marie enthalten (vgl. Tabellen 5.2-2 und 5.2-3). Die im ERAM-HIS enthaltenen Grubenbaue in Kalilagern (Rolllöcher bzw. Strecken im Kalilager sowie Kaliabbaue) werden für die einzelnen Kalilager zusammenfasst.

Unter ‚unbenannt‘ sind in Tabelle 5.2-3 Grubenbaue im Kalilager zusammengefasst, die gemäß [P 220] keinem der im Grubenfeld Marie aufgeführten Kalilagerteilen zugeordnet werden können. Für die erreichbaren Kalilagerteile wurde ein Verfüllgrad von 100 % angenommen. Für die nicht erreichbaren Kalilagerteile wurde der Verfüllgrad angesetzt, der dem jeweils bereits in den Lagerteilen enthaltenen Altversatz entspricht. Damit ergeben sich gemäß [P 220] für die einzelnen Kalilagerteile zum Teil geringere Verfüllgrade als 100 %.

Tabelle 5.2-2: Hohlraum- und Verfüllbilanz für die Kalilagerteile Bartensleben (aus [P 220], Tab. 8-2)

	Aufgefahrenes Hohlraumvolumen [m <sup>3</sup> ]	Altversatzvolumen [m <sup>3</sup> ]	Verfüllgrad [%]	Verfüllvolumen [m <sup>3</sup> ]	Zusätzl. Verfüllvolumen [m <sup>3</sup> ]	Resthohlraum [m <sup>3</sup> ]
A	12.140	5.160	100,0	12.140	6.980	-
B	268.591	182.380	91,8	246.560	64.180	22.031
C	231.433	128.854	99,4	229.934	101.080	1.499
D	116.686	75.335	100,0	116.686	41.351	-
E	28.197	10.756	96,3	27.157	16.401	1.040
W	73.015	55.379	97,0	70.823	15.444	2.192
<b>Summe Lagerteile A bis W</b>	<b>730.062</b>	<b>457.864</b>	<b>96,3</b>	<b>703.300</b>	<b>245.436</b>	<b>26.762</b>

Tabelle 5.2-3: Hohlraum- und Verfüllbilanz für die Kalilagerteile Marie (aus [P 220], Tabelle 8-3)

	Aufgefahrenes Hohlraumvolumen [m <sup>3</sup> ]	Altversatzvolumen [m <sup>3</sup> ]	Verfüllgrad [%]	Verfüllvolumen [m <sup>3</sup> ]	Zusätzl. Verfüllvolumen [m <sup>3</sup> ]	Resthohlraum [m <sup>3</sup> ]
E	24.310	15.394	93,2	22.654	7.260	1.656
F	580.243	364.154	97,3	564.489	200.335	15.754
H	421.308	270.722	98,5	415.191	144.469	6.117
I	37.001	7.607	98,2	36.336	28.729	665
K	229.659	181.236	99,4	228.191	46.955	1.468
M1	43.515	30.275	94,2	40.972	10.697	2.543
M2	26.795	20.217	95,8	25.668	5.451	1.127
W	12.207	9.482	94,1	11.482	2.000	725
unbenannt	7.115	0	100,0	7.115	7.115	-
<b>Gesamt</b>	<b>1.382.153</b>	<b>899.087</b>	<b>97,8</b>	<b>1.352.098</b>	<b>453.011</b>	<b>30.055</b>

Aufgrund von Planungsänderungen hat sich gemäß [P 220] eine Abweichung im Verfüll- bzw. zusätzlichen Versatzvolumen im Kalilagerteil I sowie in der Gesamtsumme ergeben von + 662 m<sup>3</sup> gegenüber dem in Tabelle 5.2-3 ausgewiesenen Volumen, das auf dem ERAM-HIS (Stand: 30.06.2002) basiert. Diesbezüglich wird in Kapitel 8.2 von [P 220] auf eine Erläuterung in Anhang 13.5 verwiesen.

Bewertung

Wir sehen es als nicht geeignet an, zum Berichtszeitpunkt bekannte Änderungen der Datenbasis nicht in die Bilanzierung einfließen zu lassen, sondern diese lediglich verbal im Text bzw. in einem Anhang des Verfüllplans zu erläutern (siehe dazu auch Abschnitt 5.1).

**5.2.3. Gesamtbilanzierung für die Grubenfelder Bartensleben und Marie**

In [P 220] Kapitel 8.3 erfolgt eine Gesamtbilanzierung über alle Arten von Grubenbauen, unterschieden nach den Grubenfeldern Marie und Bartensleben (vgl. Tabellen 5.2-4 und 5.2-5).

Tabelle 5.2-4: Hohlraum- und Verfüllbilanz für das Grubenfeld Marie (aus [P 220], Tabelle 8-5)

	Aufgefahre- nes Hohlraum- volumen [m <sup>3</sup> ]	Altversatz- volumen [m <sup>3</sup> ]	Verfüll- grad [%]	Verfüll- volumen [m <sup>3</sup> ]	Zusätzl. Ver- füllvolumen [m <sup>3</sup> ]	Rest- hohlraum [m <sup>3</sup> ]
<b>Strecken, Rolllöcher und Gesenke</b>						
Kategorie II	86.736	3.134	100,0	86.653	83.519	83
Kategorie III	289.500	32.657	65,5	189.637	156.980	99.863
Summe Kat. II + III	376.236	35.791	73,5	276.290	240.499	99.946
<b>Kalilagerteile</b>						
Kategorie IV	1.382.153	899.087	97,9	1.352.098	453.011	30.055
<b>Steinsalzabbaue und -kammern</b>						
Kategorie II	331.706	277.716	95,0	315.128	37.412	16.578
Kategorie III	439.056	273.692	64,1	281.559	7.867	157.497
Summe Kat. II + III	770.762	551.408	77,4	596.687	45.279	174.075
andere Steinsalzabbaue	58.982	28.153	84,8 <sup>1</sup>	50.505	22.352	8.447 <sup>2</sup>
Gesamt Steinsalzabbaue	829.744	579.561	78,0	647.192	67.631	182.552
<b>Schacht Marie</b>	11.606	1.701	100,0	11.606	9.905	-
<b>Summe Grubenbaue Marie</b>	<b>2.599.739</b>	<b>1.516.140</b>	<b>88,0</b>	<b>2.287.176</b>	<b>771.046</b>	<b>312.553</b>

<sup>1</sup> Wert ist aus der Bilanzierung nicht nachvollziehbar und müsste ,85,6' sein.

<sup>2</sup> Wert ist aus der Bilanzierung nicht nachvollziehbar und müsste ,8.477' sein.

Tabelle 5.2-5: Hohlraum- und Verfüllbilanz für das Grubenfeld Bartensleben (aus [P 220], Tabelle 8-4)

	Aufgefahrenes Hohlraum- volumen [m <sup>3</sup> ]	Altversatz- volumen [m <sup>3</sup> ]	Verfüll- grad [%]	Verfüll- volumen [m <sup>3</sup> ]	Zusätzl. Ver- füllvolumen [m <sup>3</sup> ]	Rest- hohlraum [m <sup>3</sup> ]
<b>Strecken, Rolllöcher und Gesenke</b>						
Kategorie I	32.124	-	100,0	32.124.	32.124	-
Kategorie II	14.517	-	91,6	13.296	13.296	1.221
Kategorie III	337.330	15.142	60,7	204.625	189.483	132.705
Gesamt	383.971	15.142	65,1	250.045	234.903	133.926
davon Einlagerungsgrubenbaue	27.927	10.104	65,0	18.156	8.052	9.771
<b>Kalilagerteile</b>						
Kategorie IV	730.062	457.864	96,3	703.300	245.436	26.762
davon Einlagerungsgrubenbaue	45.892	40.542	93,4	42.849	2.307	3.043
<b>Steinsalzabbaue</b>						
Kategorie II	1.544.640	82.552	97,1	1.499.748	1.417.196	44.892
Kategorie III	3.293.230	286.312	70,7	2.329.448	2.043.136	963.782
Summe Kat. II + III	4.837.870	368.864	79,2	3.829.196	3.460.332	1.008.674
andere Steinsalzabbaue	152.624	113.421	88,8	135.591	22.170	17.033
Gesamt	4.990.494	482.285	79,4	3.964.787	3.482.502	1.025.707
davon Einlagerungsgrubenbaue	236.561	165.052	96,1	227.262	62.210	9.299
<b>Schacht Bartensleben</b>	11.387	-	100,0	11.387	11.387	-
<b>Summe Grubenbaue Bartensleben</b>	6.115.914	955.291	80,7	4.929.519	3.974.228	1.186.395
davon im Rahmen der bGZ verfüllt	6.115.914 <sup>1</sup>	955.291 <sup>1</sup>		733.347	721.383	4.439.240 <sup>2</sup>
<b>im Rahmen der Stilllegung zu verfüllen</b>	<b>6.115.914<sup>1</sup></b>	<b>955.291<sup>1</sup></b>		<b>4.196.172</b>	<b>3.252.845</b>	<b>1.186.395<sup>1</sup></b>

<sup>1</sup> Wiederholung der Werte aus Zeile 19, die nicht nur für die im Rahmen der bGZ verfüllten bzw. im Rahmen der Stilllegung zu verfüllenden Grubenhohlräume gelten.

<sup>2</sup> Wert entspricht dem offenen Hohlraumvolumen nach der bGZ und nicht dem an dieser Stelle zu erwartenden Resthohlraum der im Rahmen der bGZ verfüllten Grubenbaue.

Aufgrund von Planungsänderungen hat sich gegenüber der Tabelle 5.2-4 eine Abweichung in den Versatz- bzw. zusätzlichen Verfüllvolumina der ‚Strecken, Rolllöcher und Gesenke‘ von + 273 m<sup>3</sup>, der Kalilagerteile von + 662 m<sup>3</sup> sowie der ‚Grubenbaue Marie gesamt‘ von + 935 m<sup>3</sup> ergeben. Dies wird in Anhang 13.5 von [P 220] erläutert.

### Bewertung

Die in den Tabellen 8-4 und 8-5 von [P 220] angegebene Gesamtbilanzierung für die Grubenfelder Marie und Bartensleben stellt hinsichtlich der im Rahmen der bGZ eingebrachten Materialvolumina sowie weiterer Hohlraumangaben nicht den zum Zeitpunkt der Berichtslegung bekannten Sachstand dar. Zum Berichtszeitraum bereits bekannte Änderungen werden – allerdings nicht vollständig – in einem Anhang der Verfüllplanung verbal erläutert, ohne in die tabellarische Bilanzierung übernommen zu werden. Wir sehen diese Art der Darstellung als nicht geeignet an (siehe dazu Abschnitt 5.1).

Die Angaben in Zeile 12 (‚andere Steinsalzabbaue‘) der Bilanzierung zum Grubenfeld Marie (Tabelle 5.2-4) sind u. E. nicht korrekt. Der in der Spalte 4 angegebene Verfüllgrad beläuft sich unter Verwendung der Angaben in den Spalten 2 und 5 nicht auf 84,8 %, sondern auf 85,6 %. Bei der Angabe zum Resthohlraum (‚8447‘) vermuten wir einen Schreibfehler, da der Wert ‚8.477‘ lauten müsste.

In Analogie zu Kapitel 5.2.1 kommen wir auch hier zu der Einschätzung, dass die Angaben der Bilanzierung zum Grubenfeld Bartensleben (Tabelle 5.2-5) in den Spalten 2, 3 und 7 der Tabellenzeilen 20 (‚davon im Rahmen der bGZ verfüllt‘) und 21 (‚im Rahmen der Stilllegung zu verfüllen‘) nicht geeignet sind. Es erfolgt lediglich eine Wiederholung nicht zutreffender Angaben bzw. es wird in der Spalte 7 der Zeile 20 ein Wert genannt, der nicht dem an dieser Stelle zu erwartenden Resthohlraum der im Rahmen der bGZ verfüllten Grubenbaue, sondern dem offenen Hohlraum des gesamten Grubenfeldes Bartensleben nach Abschluss der bGZ entspricht. Für diese Angabe ist in der Struktur der Tabelle 8-6 keine Platzierung möglich, so dass beispielsweise eine Angabe mittels Fußnote erfolgen sollte.

### **5.2.4. Hohlraum- und Verfüllbilanz für die Langzeitsicherheitsanalyse**

Gemäß [P 220] wurde zusätzlich zu der im ERAM-HIS erfolgten Einteilung des Grubengebäudes in Feldesteile auch eine Einteilung nach funktionalen Kriterien in sogenannte Einlagerungsbereiche mit Einlagerungsgrubenbauen (EH) und in die Restgrube vorgenommen, entsprechend der Langzeitsicherheitsanalyse [P 277] und [P 278]<sup>39</sup>.

Da die Einlagerungsbereiche West- und Südfeld mittels Großbohrung miteinander verbunden werden, werden sie als ein gemeinsamer Einlagerungsbereich West-/Südfeld betrachtet. Damit wird zwischen den Einlagerungsbereichen West-/Südfeld und Ostfeld sowie der Restgrube unterschieden. Die Restgrube setzt sich aus den Einlagerungsgrubenbauen im Nordfeld und Zentralteil Bartensleben sowie aus den übrigen Grubenbauen Bartensleben und Marie zusammen.

In der Tabelle 5.2-6 sind die aus [P 220] Tabelle 8-6 entnommenen Hohlraum- und Verfüllvolumina zusammengestellt. Bei den Einlagerungsbereichen werden die Einlagerungsgrubenbaue

<sup>39</sup> In [P 220] Kapitel 8.4 wird noch auf die Vorgängerversionen [P 189] und [P 190] der Langzeitsicherheitsanalysen mit Stand 2004 verwiesen.

gesondert bilanziert. Gleiches gilt für die Einlagerungsgrubenbaue des Nordfeldes (Restgrube). Die Restgrube wird zudem nach Restgrube Bartensleben und Restgrube Marie unterschieden.

Bewertung

In Analogie zu den Tabellen 8-1 und 8-4 aus [P 220] ist die Tabelle 8-6 zum Teil nicht schlüssig, da sich Angaben in den Zeilen 9 und 14 nicht ausschließlich auf die noch im Rahmen der Stilllegung zu verfüllenden Grubenhohlräumen beziehen, sondern es werden lediglich Angaben zu den insgesamt zu verfüllenden Grubenbauten wiederholt.

Tabelle 5.2-6: Hohlraum- und Verfüllbilanz entsprechend der Feldeseinteilung nach der LSA (aus [P 220], Tabelle 8-6)

	Aufgefahrenes Hohlraumvolumen [m <sup>3</sup> ]	Altversatzvolumen [m <sup>3</sup> ]	Verfüllgrad [%]	Verfüllvolumen [m <sup>3</sup> ]	Zusätzl. Verfüllvolumen [m <sup>3</sup> ]	Resthohlraum [m <sup>3</sup> ]
West-/Südfeld gesamt	1.331.406	505.067	76,5	1.018.121	513.054	313.285
West-/Südfeld EH	188.579	161.568	90,2	170.189	8.621	18.390
West-/Südfeld ohne EH	1.142.827	343.499	74,2	847.932	504.433	294.895
Ostfeld gesamt	306.686	57.310	79,1	242.724	185.414	63.962
Ostfeld EH	53.429	19.879	100,0	53.429	33.550	0
Ostfeld ohne EH	253.257	37.431	74,7	189.295	151.864	63.962
Restgrube Bartensleben	4.477.822	392.914	81,9	3.668.674	3.275.760	809.148
davon im Rahmen der Stilllegung zu verfüllen	4.477.822 <sup>1</sup>	392.914 <sup>1</sup>		2.935.327	2.554.377	809.148 <sup>1</sup>
Nordfeld EH	2.136	1.701	79,9	1.706	5	430
Zentralteil EH	66.236	32.550	95,0	62.943	30.393	3.293
Restgrube Marie	2.599.739	1.516.140	88,0	2.287.186	771.046	312.553
<b>ERAM gesamt</b>	<b>8.715.653</b>	<b>2.471.431</b>	<b>82,8</b>	<b>7.216.705</b>	<b>4.745.274</b>	<b>1.498.948</b>
davon im Rahmen der Stilllegung zu verfüllen	8.715.653 <sup>2</sup>	2.471.431 <sup>2</sup>		6.483.358	4.023.891	1.498.948 <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Wiederholung der Werte aus Zeile 8, die nicht nur für die im Rahmen der Stilllegung zu verfüllenden Grubenhohlräume gelten.

<sup>2</sup> Wiederholung der Werte aus Zeile 13, die nicht nur für die im Rahmen der Stilllegung zu verfüllenden Grubenhohlräume gelten.

**5.2.5. Zusammenfassende Bewertung**

Wir kommen zu folgender Empfehlung:

**E 12: Die Hohlraum- und Verfüllbilanzen sowie die Ablaufplanung der als Ergebnis der Konzeptplanung erstellten Unterlage [P 220] bedürfen aus unserer Sicht einer Aktualisierung und Ergänzung. Dabei sollten die Maßnahmen der bGZ, der aktuelle Planungsstand zur Verfüllung des ERAM sowie der aktuelle Kenntnisstand zum Hohlraumvolumen des ERAM während der Stilllegungsphase berücksichtigt werden. Die Zielstellung sollte in einer konsistenten Darstellung der Hohlraum- und Verfüllbilanzierungen sowie der Ablaufplanung für die vorgesehenen Stilllegungsmaßnahmen liegen.**

**Die dem Verfüllkonzept zugrunde liegenden Hohlraumdaten des ERAM-HIS sollten in diesem Rahmen möglichst ebenfalls aktualisiert werden und z. B. sämtliche seit der letzten Fassung vorgenommene Planungsänderungen enthalten.**

**Die aktualisierten Ergebnisse zu den Hohlraum- und Verfüllvolumina sollten anschließend in die LSA einfließen.**

### **5.3. Plausibilität der Angaben zur Verfüllung der -372 mNN-Sohle Grube Marie**

In [P 220] Abbildung 4-21 werden die Grubenbaue der -372 mNN-Sohle Marie den Verfüllkategorien III (für die Strecken) und IV (für Abbaue des Kalilagers F) zugeordnet. Dies lässt die Verfüllung dieser Hohlräume – insbesondere der Kaliabbaue – erwarten.

In [P 220] Kapitel 12.3 wird allerdings ausgeführt, dass die Verfüllung im Grubenfeld Marie beginnend mit der -346 mNN-Sohle von unten nach oben erfolgen soll. Auch in den Anhängen von [P 220] wird als unterste zu verfüllende Sohle die -346 mNN-Sohle angegeben. Dementsprechend ist in der Darstellung der Verfüllreihenfolge in Anhang 14 keine Verfüllung von Hohlräumen der -372 mNN-Sohle Marie verzeichnet.

Gemäß Kapitel 2.1.2 des Plan Stilllegung [A 281] war der größte Teil dieser Sohle bis zur Mitte der 1960er Jahre vollgelaufen. Das dort vorhandene Lösungsvolumen wird für Anfang 2008 mit ca. 19.000 m<sup>3</sup> beziffert und es wird angegeben, dass diese Lösung im Rahmen der bGZ ab Mitte 2008 für die Herstellung von Salzbeton genutzt wurde.

Nach den Angaben im ERAM-HIS beträgt das auf dieser Sohle aufgefahrene Hohlraumvolumen 25.000 m<sup>3</sup>. Es ist ein Altversatz von 19.971 m<sup>3</sup> angegeben, bei dem es sich gemäß ERAM-HIS um ‚Lauge‘ handelt.

Es besteht Klärungs- bzw. Aktualisierungsbedarf hinsichtlich der vorgesehenen Verfüllung der -372 mNN-Sohle Marie unter Berücksichtigung der dort zu Beginn der Stilllegung noch vorhandenen bzw. erwarteten Lösungen. Wir kommen zu folgender Empfehlung:

**E 13: In dem überarbeiteten Verfüllplan sollte deutlich dargestellt werden, ob bzw. in welchem Umfang die -372 mNN-Sohle des Grubenfeldes Marie verfüllt werden soll und ob bzw. in welchem Umfang dort zu Beginn der Stilllegungsmaßnahmen Lösungen vorhanden sein werden.**

### **5.4. Nachvollziehbarkeit der Verfüllung der einzelnen Grubenbaue**

In den Anhängen von [P 220] sind für einen Teil der Grubenbaue zusammenfassende Übersichten enthalten, in denen Hohlraum- und Verfülldaten dieser Grubenbaue angegeben werden. Diese Übersichten sind nicht vollständig. Daher ist die Verfüllung aller Einzel-Grubenbaue nicht nachvollziehbar.

Es sollten in der Verfüllplanung zur Stilllegung des ERAM Übersichten für alle zu verfüllenden Grubenbaue der Grubengebäude Bartensleben und Marie enthalten sein. Dabei sollten auch die in [P 220] Kapitel 8 genannten jedoch nicht näher definierten ‚sonstigen Steinsalzabbaue‘ in einer

gesonderten Zusammenstellung konkret erläutert werden. Zusätzlich sollten die nicht zu verfüllenden Grubenbaue angegeben werden.

Zu jedem Grubenbau der Grubengebäude Bartensleben und Marie sollten aus der Verfüllplanung mindestens folgende Informationen zu entnehmen sein:

- Kennzeichnung (Y.../R...),
- Bezeichnung (z. B. Abbau ...),
- Sohlenniveau,
- Zuordnung zu einem Grubenfeld,
- Grubenbauart (Abbau, Rollloch, Strecke etc.),
- aufgefahrenes Hohlraumvolumen,
- eingebrachter Altversatz,
- Verfüllkategorie,
- geplanter Verfüllgrad,
- zusätzliches (d. h. im Rahmen der Stilllegung einzubringendes) Verfüllvolumen und
- Angabe, ob als Einlagerungsgrubenbau eingeordnet.

Diese Angaben sollten nicht nur – wie in [P 220] erfolgt – in der Form zusammenfassender Übersichten z. B. nach der Art der Grubenbaue und/oder nach der Verfüllkategorie erfolgen, sondern es sollte der Verfüllplanung auch eine Gesamtübersicht beigelegt werden, in der alle Grubenbaue in der Reihenfolge der Grubenbau-Kennzeichnung enthalten sind. Diese Gesamtübersicht sollte der Verfüllplanung möglichst auch in elektronischer Form (z. B. als excel-Tabelle) beigelegt werden.

Wir kommen zu folgender Empfehlung:

**E 14: Die in den Anhängen von [P 220] enthaltenen Hohlraum- und Verfülldaten der Grubenbaue sollten im überarbeiteten Verfüllplan vervollständigt werden, so dass dort für jeden Grubenbau der Grubenfelder Bartensleben und Marie mindestens folgende Informationen zu entnehmen sind:**

- **Kennzeichnung (Y.../R...),**
- **Bezeichnung (z. B. Abbau ...),**
- **Sohlenniveau,**
- **Zuordnung zu einem Grubenfeld,**
- **Grubenbauart (Abbau, Rollloch, Strecke etc.),**
- **aufgefahrenes Hohlraumvolumen,**
- **eingebrachter Altversatz,**
- **Verfüllkategorie,**
- **geplanter Verfüllgrad,**





- **zusätzliches (d. h. im Rahmen der Stilllegung einzubringendes) Verfüllvolumen und**
- **Angabe, ob als Einlagerungsgrubenbau eingeordnet.**

**Es sollte neben den nach Art der Grubenbaue und/oder nach Verfüllkategorie unterscheidenden Anhängen eine Gesamtübersicht beigefügt werden, in der alle Grubenbaue in der Reihenfolge der Grubenbau-Kennzeichnung mit den vorstehend genannten Informationen enthalten sind.**

## **6. LITERATUR**

- [A 280] BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ  
Übersicht über die geprüften technischen Verfahrensalternativen zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM)  
Salzgitter, 04.12.2008
- [A 281] BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ  
Plan zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (einschließlich der Endlagerung bereits zwischengelagerter radioaktiver Abfälle und noch anfallender betrieblicher radioaktiver Abfälle)  
Salzgitter, 15.09.2009
- [A 281Q] BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ  
Quellennachweise für Aussagen im Plan zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (einschließlich der Endlagerung bereits zwischengelagerter radioaktiver Abfälle und noch anfallender betrieblicher radioaktiver Abfälle)  
Salzgitter, 31.03.2009
- [BS 09] KISTINGER, S.; BALTES, B.; STOLLENWERK, R. H.  
Bericht zur Vollständigkeits- und Plausibilitätsprüfung des ‚Plan zur Stilllegung des ERAM‘ vom 31.03.2009  
Brenk Systemplanung GmbH, Aachen, 09.07.2009
- [BS 11A] KISTINGER, S. (BS); DÜSTERLOH, U.; LUX, K.-H. (TUC)  
Stilllegung des ERA Morsleben  
3. Zwischenbericht zur Prüfung des Sicherheitskonzepts (geotechnische Aspekte)  
Bewertung P 218  
Brenk Systemplanung GmbH, Aachen, 05.05.2011
- [BS 11B] KISTINGER, S. (BS); DÜSTERLOH, U. (TUC)  
Stilllegung des ERA Morsleben  
4. Zwischenbericht zur Prüfung des Sicherheitskonzepts (geotechnische Aspekte)  
Bewertung G 216  
Brenk Systemplanung GmbH, Aachen, 20.06.2011
- [BS 11C] KISTINGER, S. (BS), DÜSTERLOH U. (TUC)  
5. Zwischenbericht zur Prüfung des Sicherheitskonzepts (geotechnische Aspekte) –  
Bewertung P 212  
Brenk Systemplanung GmbH, Aachen, 26.09.2011

- [BS 12] KISTINGER, S.; STOLLWERK, R. H.  
Prüfung von Antragsunterlagen zur Stilllegung des ERAM:  
„Beschreibung von Hydrogeologie und Stofftransport in der LSA“  
Prüfkomplex 11, Phase 1, Teilbericht „Grundwassermodellierung“  
Brenk Systemplanung GmbH, Aachen, 17.07.2012
- [ERA 84] MÜLLER R. ET. AL.  
Bericht über die Beurteilung der Sicherheit der Endlagerung radioaktiver Abfälle im  
Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben – 1. Ausbaustufe  
ERA Morsleben, Juni 1984
- [ERA 89] VE KOMBINAT KERNKRAFTWERKE „BRUNO LEUSCHNER“ GREIFSWALD – BETRIEBSTEIL  
ENDLAGER FÜR RADIOAKTIVE ABFÄLLE  
Sicherheitsbericht des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben 1989  
Morsleben, November 1989
- [G 188] WEIDENBACH; MÜLLER-HOEPPE  
Überwachungs- und Beweissicherungsprogramm zu den Bauzuständen für die  
Stilllegung des ERAM  
DBE, Morsleben, 07.05.2004
- [G 216] MÜLLER-HOEPPE, N.  
Konzept von Vorsorgemaßnahmen für die Stilllegung  
DBE, Peine, 15.12.2005
- [G 217] HANETZOG, G.  
Systembeschreibung der Verfüllung  
DBE, 15.12.2005
- [G 228] ENGELHARDT  
Systembeschreibung: Material für die Stilllegung  
DBE, 10.08.2006
- [G 231] EDEL  
Systembeschreibung der Bewetterung des ERA Morsleben in der Betriebsphase der  
Stilllegung  
DBE, 15.12.2005

- [G 235] GIESLER  
Anlagen ERAM für die Stilllegung  
Systembeschreibung „Versatztransport Bartensleben“  
DBE, 15.05.2006
- [I 79] STORCK, R.; BOESE, B.; BRENNER, J.; HERBERT, H.-J.; KÜHLE, T.  
Endlager Morsleben  
Untersuchungen zur Entwicklung von Stilllegungskonzepten: Porenspeicherkonzept  
und Abdichtungskonzept  
GRS, Braunschweig, 17.03.2000
- [I 364] RESELE G.; RANFT M.; WOLLRATH J.  
Endlager Morsleben  
Nachweis der radiologischen Langzeitsicherheit für das verfüllte und verschlossene  
Endlager: eine Übersicht  
BfS, Salzgitter, 30.06.2009
- [I 418] MOHLRFELD, M.  
Untersuchung von Abdichtungsmöglichkeiten des Einlagerungsbereichs Nordfeld  
ZERNA Planen und Prüfen GmbH
- [P 67] KÄBEL, H.; GERARDI, J.; KELLER, S.  
Projekt ERA Morsleben  
Szenarienanalyse. Geologische Langzeitbewertung und Ermittlung der  
Zuflussszenarien ohne technische Maßnahmen.  
BGR, Hannover, 01.07.1999
- [P 145] GLÄB, F.; MOHLRFELD, M.  
Kriterien für das Verfüllen von Bohrungen  
BfS, 30.07.2002
- [P 189] NIEMEYER ET AL.  
Endlager Morsleben. Langzeitsicherheitsnachweis für das verfüllte und verschlossene  
Endlager mit dem Programm PROSA.  
Colenco Power Engineering AG, Baden/CH, Juli 2004
- [P 190] STORK ET AL.  
Endlager Morsleben – Modellrechnungen zur Langzeitsicherheit mit dem  
Rechenprogramm EMOS  
GRS, Braunschweig, 09.06.2004

- [P 212] MÜLLER-HOEPPE, N.; KREIENMEYER, M.  
Standsicherheits- und Integritätsnachweis – Kriterien zur Auswahl von  
Berechnungsschnitten  
DBE, Peine, 15.12.2005
- [P 214] KREIENMEYER, M.  
Standsicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:  
Grubenteil Westfeld  
DBE, Peine, 31.10.2005
- [P 215] LERCH, C.  
Standsicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:  
Grubenteil Südfeld  
DBE, Peine, 15.12.2005
- [P 218] MÜLLER-HOEPPE, N.  
Sicherheitsnachweismethoden und Sicherheitsnachweiskriterien für die Maßnahmen  
der Stilllegung (Standsicherheit und Integrität)  
DBE, Peine, 15.12.2005
- [P 220] FISCHER, H., LOOSE, H.-J.; MÜLLER-HOEPPE, N.; OPPITZ, J.; PÖHLER, M.  
Verfüllplan zur Stilllegung des ERAM nach vorgezogener Verfüllung von  
Grubenbauen des Zentralteils, Konzeptplanung  
DBE, Peine, 15.12.2005
- [P 221] ENGELHARDT  
Salzbeton - Zusammenstellung der Eigenschaften und Materialkennwerte  
(Referenzmaterial M3)  
DBE, 13.01.2006
- [P 224] KREIENMEYER, M.  
Standsicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:  
Grubenteil Marie  
DBE, Peine, 01.03.2006
- [P 229] ENGELHARDT  
ERA Morsleben, Stilllegung – Überwachungskonzept Salzbeton  
DBE, Morsleben, 01.08.2006

- [P 232] GIESLER  
Stilllegungskonzept, ergänzende berg- und anlagentechnische Grundlagenermittlung  
und Konzeptplanung – Grubenbewetterung und Klimatechnik –  
DBE, Peine, 15.12.2005
- [P 234] LERCH, C.  
Standsicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:  
Grubenteil Nordfeld  
DBE, Peine, 31.01.2006
- [P 243] KREIENMEYER, M.  
Standsicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:  
Zentralteil Bartensleben  
DBE, Peine, 24.02.2006
- [P 245] KREIENMEYER, M.  
Standsicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:  
Grubenteil Ost- und Südostfeld  
DBE, Peine, 15.12.2005
- [P 264] PETTENPOHL, H.; PIER, J.  
Endlager Morsleben  
Die Errichtung und Nachweisführung für die Funktionstüchtigkeit der temporären  
Abdichtungen  
DMT, Essen, 25.07.2006
- [P 266] K-UTEC AG SALT TECHNOLOGIES  
Konzeptplanung und Nachweisführung für ein Abdichtungsbauwerk im Hauptanhydrit  
aus Magnesiabeton  
Sondershausen, 17.09.2008
- [P 267] POLSTER  
Standsicherheits- und Integritätsnachweis des zugelaufenen Endlagers  
DBE, 11.04.2008
- [P 277] NIEMEYER ET AL.  
Endlager Morsleben - Sicherheitsanalyse für das verfüllte und verschlossene Endlager  
mit dem Programm PROSA  
Colenco Power Engineering AG, Baden/CH, 27.03.2009
- [P 278] BECKER ET AL.



Endlager Morsleben - Sicherheitsanalyse für das verfüllte und verschlossene Endlager  
mit dem Programm EMOS

GRS, Braunschweig, 27.03.2009

[SSK 10]

STRAHLENSCHUTZKOMMISSION (SSK)

Radiologische Anforderungen an die Langzeitsicherheit des Endlagers für radioaktive  
Abfälle Morsleben (ERAM)

Empfehlung der Strahlenschutzkommission

Verabschiedet in der 246. Sitzung der SSK am 02./03.12.2010

Gebilligt am 15.12.2010 im Umlaufverfahren