



3. Zwischenbericht

**Prüfung von Antragsunterlagen
zur Stilllegung des ERAM
Prüfkomplex 7, Phase 2
Anforderungen aus der LSA an
den Verschluss von
untertägigen Bohrungen**

BS-Projekt-Nr. 0108-03

erstellt im Auftrag der

IHU Geologie und Analytik
Dr.-Kurt-Schumacher-Str. 23
39576 Stendal

durch die

Brenk Systemplanung GmbH
Heider-Hof-Weg 23
52080 Aachen

Aachen, 28.02.2012

Anmerkung:

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

Im Rahmen der Stilllegung des ERAM sind neben der Abdichtung bestimmter Streckenabschnitte auch die Abdichtung des südlichen Wetterrolllochs (zwischen dem Südfeld und dem Südostfeld der Grube Bartensleben) sowie diverser sicherheitsrelevanter untertägiger Bohrungen vorgesehen. In den Modellen zu den Langzeitsicherheitsanalysen (LSA) [P 277, P 278] werden die untertägigen Bohrungen nicht explizit berücksichtigt. Es wird unterstellt, dass bekannte Bohrungen abgedichtet werden, so dass über diese keine Lösungs- oder Gasaustritte mehr erfolgen.

In diesem Zwischenbericht werden die potentiell relevanten untertägigen Bohrungen identifiziert und es wird abgeleitet, welche quantitativen Anforderungen sich aus den LSA an die hydraulischen Eigenschaften und die chemische Beständigkeit des Verschlusses der untertägigen Bohrungen ergeben.

Identifizierung potentiell relevanter Bohrungen

In der Unterlage [P 145] sind nähere Angaben zu den gemäß Plan Stilllegung zu verfüllenden Bohrungen enthalten. Dort sind neben den Entscheidungskriterien allerdings nur die Ergebnisse der Identifizierung der zu verfüllenden Bohrungen (16 Stück) angegeben. Informationen zu den im Bereich der einzelnen Abdichtungsstandorte existierenden Bohrungen werden dort nicht gegeben.

Für die Langzeitsicherheit des ERAM relevante untertägige Bohrungen können u. E. unterteilt werden in

- Bohrungen in der geologischen Barriere zwischen einem Einlagerungsbereich (ELB) und der Restgrube, sowohl im Nah- wie auch im Fernbereich der vorgesehenen Abdichtungen,
- Bohrungen in der geologischen Barriere zwischen ELB oder Restgrube und potentiell grundwasserführenden Gebirgsbereichen sowie
- Bohrungen innerhalb eines Einlagerungsbereichs oder der übrigen Grube, die die Ausbreitung der Radionuklide und sonstigen wassergefährdenden Stoffe innerhalb der Grube fördern.

Die im Plan Stilllegung und in [P 145] angegebenen Auswahlkriterien betreffen ausschließlich Bohrungen in der geologischen Barriere zwischen einem ELB und der übrigen Grube (Teil des ersten Spiegelpunktes). Nach Ergänzung der dort genannten und z. T. nicht ausreichend scharf formulierten Kriterien kommen wir zu den Kriterien (K1) bis (K6), die wir anschließend der Ermittlung potentiell langzeitsicherheitsrelevanter Bohrungen zugrunde legen. Basis dieser Ermittlung sind das Risswerk¹ und das Bohrkataster des ERAM [NN 337]. Das Ergebnis dieser Analyse ist in Anhang 1 (Bohrungen im Bereich der Abdichtungsstandorte) und Anhang 2 (Bohrungen im weiteren Umfeld der Abdichtungsstandorte) des vorliegenden Berichts dokumentiert. Viele der dort identifizierten Bohrungen, die die Kriterien (K1) bis (K6) erfüllen, werden bei den gemäß [P 145] qualifiziert zu verfüllenden Bohrungen nicht erwähnt. Wir empfehlen, dass dies vom BfS für jeden Einzelfall begründet werden sollte.

¹ Da uns keine Legende zum Risswerk des ERAM vorliegt, müssen wir uns hinsichtlich einiger Details auf Vermutungen stützen.



Zur Identifizierung der oben im zweiten und dritten Spiegelpunkt genannten Bohrungen werden vom BfS keine Kriterien genannt. Wir halten es für erforderlich, begründete Kriterien (z. B. Abstandskriterien) für die Bewertung von Bohrungen aus den ELB und der Restgrube heraus in Richtung der Ränder des Salzstocks einzuführen. Die Fragestellung, ob es potentiell relevante Bohrungen innerhalb eines ELB oder innerhalb der Restgrube gibt, sollte in einer künftigen Phase zur Bewertung der Langzeitsicherheit geprüft werden.

Anforderungen an die Abdichtung der untertägigen Bohrungen

Unter Berücksichtigung der in den LSA enthaltenen bzw. den in diesem Zusammenhang zu unterstellenden Annahmen zur Berücksichtigung von Lösungs- und Gasflüssen über Bohrungen werden die Anforderungen an die Abdichtung der untertägigen Bohrungen diskutiert.

Es werden zunächst die zu beachtenden Rahmenbedingungen und Grundsätze erläutert. Im Hinblick auf den Gasfluss über die Bohrungen und die Abdichtungen gehen wir auf der Basis der Berechnungen in [P 277] von der Annahme aus, dass ein Entweichen der Gase aus einem ELB zu einer Verringerung der lösungstragenden Stoffausträge aus diesem ELB führt, so dass die Forderung nach gasdicht zu verfüllenden Bohrungen kontraproduktiv wäre. Wir weisen jedoch darauf hin, dass diese Annahme im Rahmen der Prüfungen zur LSA mit einem erweiterten Modell überprüft werden sollte.

Hinsichtlich der vom BfS aufgestellten Anforderungen an die Verfüllung der untertägigen Bohrungen ist festzustellen, dass im Plan und in den ergänzenden Unterlagen unterschiedliche Anforderungen genannt werden. Diese Anforderungen sollten vom BfS vereinheitlicht werden. Zudem stimmen die Angaben zu den Materialeigenschaften im Plan Stilllegung und in den ergänzenden Unterlagen nicht überein. Wir empfehlen, dass vom BfS daher der Nachweis erbracht werden sollte, dass das vorgesehene Verfüllmaterial die geforderten Eigenschaften aufweist.

Wir kommen weiterhin zu dem Ergebnis, dass die vom BfS pauschal, d. h. bohrlochunabhängig, geforderte anfängliche Permeabilität bzw. das Nichtberücksichtigen der Korrosion der Bohrlochverfüllung nicht ausreichend begründet werden und erläutern Möglichkeiten zur Vervollständigung der Begründung. Wir leiten die Empfehlung ab, dass für jede Bohrung, deren Verfüllung vorgesehen ist, die Anforderungen an die Verfüllung anzugeben und zu begründen sind. Ergänzend wird darauf hingewiesen, dass zumindest bei Bohrungen, mit denen der Hauptanhydrit durchörtert wurde, mittels hydraulischer Tests geprüft werden sollte, ob bzw. bei welcher Bohrtiefe eine Anbindung an eine Wegsamkeit besteht.



INHALTSVERZEICHNIS

Seite:

ZUSAMMENFASSUNG

1. AUFGABENSTELLUNG	1
2. ANGABEN DES BFS.....	2
2.1. Kriterien für das Verfüllen von Bohrungen aus Gründen der Langzeitsicherheit.....	2
2.2. Identifizierung von Bohrungen im Bereich der Streckenabdichtungen.....	3
2.3. Anforderungen an die Abdichtung der untertägigen Bohrungen	6
3. BEWERTUNG	8
3.1. Kriterien für die Ermittlung zu verfüllender untertägiger Bohrungen aus Gründen der Langzeitsicherheit	8
3.1.1. Bohrungen in der geologischen Barriere zwischen einem Einlagerungsbereich und der Restgrube	9
3.1.2. Bohrungen in der geologischen Barriere zwischen Einlagerungsbereich und potentiell grundwasserführenden Gebirgsbereichen.....	12
3.1.3. Bohrungen in der geologischen Barriere zwischen der Restgrube und grundwasserführenden Gebirgsbereichen.....	12
3.1.4. Bohrungen innerhalb eines Einlagerungsbereichs	13
3.1.5. Bohrungen innerhalb der übrigen Grube.....	13
3.2. Identifizierung potentiell relevanter untertägiger Bohrungen	13
3.3. Anforderungen an die Abdichtung der untertägigen Bohrungen	17
3.3.1. Vorüberlegungen	17
3.3.2. Bewertung der Anforderungen des Bfs	18
4. ZUSAMMENSTELLUNG DER EMPFEHLUNGEN UND HINWEISE.....	23
5. LITERATUR	25
ANHANG 1: Identifizierung von Bohrungen im Bereich der vorgesehenen Streckenabdichtungen und der Abdichtung des südlichen Wetterrolllochs	
ANHANG 2: Identifizierung von Bohrungen in der geologischen Barriere zwischen hydraulisch zu trennenden Grubenfeldern im weiteren Umfeld der vorgesehenen Streckenabdichtungen	

1. AUFGABENSTELLUNG

Die im Rahmen der Stilllegung geplanten Verfüll- und Verschleißmaßnahmen in den Grubengebäuden der Gruben Bartensleben und Marie werden in Kapitel 2.6 des Plan Stilllegung [A 281] angeben. Neben der Abdichtung bestimmter Streckenabschnitte sind die Abdichtung des südlichen Wetterrolllochs (zwischen dem Südfeld und dem Südostfeld der Grube Bartensleben) sowie diverser sicherheitsrelevanter untertägiger Bohrungen vorgesehen. Diese Maßnahmen werden in den Kapiteln 3.1.2 und 3.1.3 des Plans untersetzt.

In den Modellen zu den Langzeitsicherheitsanalysen (LSA) von GRS und Colenco werden untertägige Bohrungen nicht explizit berücksichtigt. Es wird unterstellt,

- dass bekannte Bohrungen zwischen den hydraulisch abzutrennenden Einlagerungsbereichen (ELB) und der Restgrube abgedichtet werden, so dass über diese keine Lösungs- oder Gasaustritte mehr erfolgen [A 281]², und
- dass die übrigen Bohrungen keinen Einfluss auf die Langzeitsicherheit haben.

Im vorliegenden Zwischenbericht werden die Anforderungen an die Abdichtung von Bohrungen, die zwischen den hydraulisch abzutrennenden ELB und der Restgrube bestehen, abgeleitet. Andere möglicherweise für die Langzeitsicherheit relevante Bohrungen innerhalb der ELB, innerhalb der Restgrube oder zwischen dem Grubengebäude und dem Rand des Salzstocks werden angesprochen, aber es werden für sie keine Anforderungen abgeleitet.

Die Wasserwegsamkeit der bekannten Bohrungen zwischen den hydraulisch abzutrennenden ELB und der Restgrube muss nach Verwahrung gegenüber der Wasserwegsamkeit der Streckenverschlüsse vernachlässigbar sein bzw. durch die in den LSA gewählten Ansätze für die Streckenabdichtungen der Einlagerungsbereiche abgedeckt sein. In diesem Zwischenbericht wird abgeleitet, welche quantitativen Anforderungen an die hydraulischen Eigenschaften und die chemische Beständigkeit des Verschlusses der untertägigen Bohrungen sich hieraus ergeben.

Da die Anforderungen an die Verschlüsse der untertägigen Bohrungen grundsätzlich auch von deren Anzahl und Lage abhängen können, wird im Rahmen dieses Berichts auch das Risswerk im Hinblick auf die Anzahl und Lage der potentiell relevanten untertägigen Bohrungen analysiert.

² In den LSA wurden probabilistische Berechnungen durchgeführt, in denen die Permeabilität der Abdichtungen variiert wurde (bspw. in [P 277] 10^{-19} m² bis 10^{-16} m² für die effektive Abdichtung zum Südfeld und 10^{-19} m² bis 10^{-15} m² für die Abdichtungen zum Ostfeld). Hierdurch sollten nach [A 281] und [P 145] auch möglicherweise vorhandene unerkannte und im Risswerk nicht verzeichnete Altbohrungen berücksichtigt werden.

2. ANGABEN DES BFS

2.1. Kriterien für das Verfüllen von Bohrungen aus Gründen der Langzeitsicherheit

Der Plan zur Stilllegung des ERAM sieht u. A. vor, die Einlagerungsbereiche (ELB) Südfeld/Westfeld und Ostfeld von den übrigen Teilen der Grube („Restgrube“) hydraulisch abzutrennen. Hierzu ist die Errichtung von Stecken- und Rollochabdichtungen zwischen

- Südfeld und Restgrube Bartensleben (bestehend aus Zentralteil, Nordfeld und Südostfeld),
- Südfeld und Grube Marie,
- Südfeld und Westfeld sowie
- Ostfeld und Restgrube Bartensleben

vorgesehen.

Die vorgesehenen Abdichtungen sind – basierend u. a. auf [P 195] – in Anhang 1 Tabelle A1-1 zusammengestellt. Die dort angegebene Nummerierung der Abdichtungen in Spalte 1 wurde der Langzeitsicherheitsanalyse [P 278] entnommen³ und wird hier für die Bezeichnung der Abdichtungen verwendet.

Nach [P 145] sind aus Gründen der Langzeitsicherheit alle Bohrungen zu verfüllen, die

- zur Schwächung der äußeren Barriere in den ELB Südfeld/Westfeld und Ostfeld oder
- zu Wegsamkeiten im Bereich von Abdichtungen

führen können.

Zum ersten Punkt werden in [P 145] solche Bohrungen gezählt, die eine Verbindung zwischen einem Einlagerungsbereich und dem wasserführenden Deck- bzw. Nebengebirge oder Liegendem herstellen können. Solche Bohrungen wurden nach [P 145] im Grubengebäude nicht identifiziert.

Zum zweiten Punkt werden in [P 145] im Weiteren nur solche Bohrungen gezählt, die zu einer Verkürzung der hydraulisch wirksamen Länge der Abdichtungen führen können. Dies setzt voraus, dass die Bohrungen durchschlägig sind (d. h. zwei Grubenbaue miteinander verbinden) oder bis dicht an die Hohlraumkontur eines Grubenbaues heranreichen. Bohrungen, die im intakten Salzgebirge stehen und auch dort enden, stellen gemäß [P 145] keine Verkürzung der hydraulischen Wege bzw. wirksamen Längen der Streckenabdichtungen dar.

³ Die Bezeichnung 10* wurde nicht [P 278] entnommen, sondern von uns zusätzlich eingeführt.

Für die Auswahl der zu verfüllenden Bohrungen wurden deshalb nach [A 281] und [P 145] fünf Kriterien aufgestellt (siehe dazu auch Abb. 2-1):

- (1) Bohrungen, die einen Einlagerungsbereich und die Restgrube durchgängig verbinden.
- (2) Bohrungen aus einem Einlagerungsbereich oder der Restgrube, die bis in die Nähe einer Abdichtung heranreichen.
- (3) Bohrungen, die eine Verbindung zwischen zwei Abdichtungen herstellen.
- (4) Bohrungen, die einen Einlagerungsbereich oder die Restgrube mit einer Abdichtung verbinden.
- (5) Bohrungen, die auf sonstige Weise die Abdichtungslängen verkürzen können (z. B. Aufschluss einer Kluftschär im Anhydrit⁴).

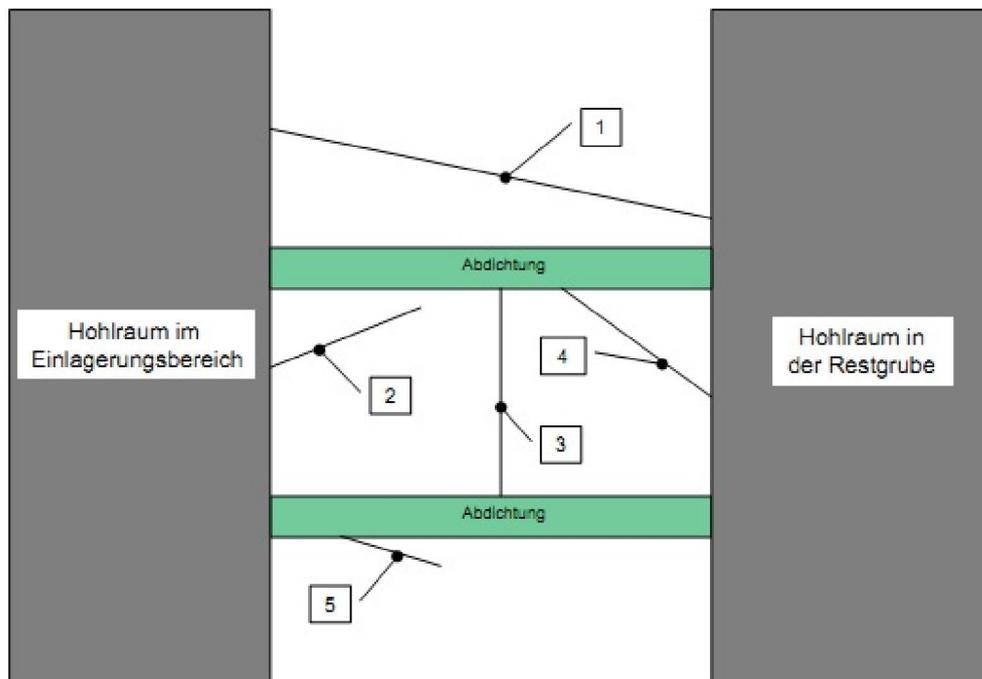


Abb. 2-1: Schematische Darstellung der zu verfüllenden Bohrungen ([A 281], Abb. 3.1-9)

2.2. Identifizierung von Bohrungen im Bereich der Streckenabdichtungen

Gemäß [A 281] habe die Prüfung der markscheiderischen Unterlagen und Erkundungen vor Ort ergeben, dass nach den o. g. Kriterien 16 Bohrungen qualifiziert zu verfüllen sind. Detailangaben zu diesen Bohrungen sind [P 145] zu entnehmen (siehe Tabelle 2-1). In [P 145] sind neben den Entscheidungskriterien nur die Ergebnisse der Identifizierung der zu verfüllenden Bohrungen angegeben. Informationen zu den im Bereich der einzelnen Abdichtungsstandorte existierenden Bohrungen werden dort nicht gegeben.

⁴ Die in der Klammer angegebene Ergänzung zur Kategorie 5 wurde [P 145] entnommen.

Tabelle 2-1: Gemäß [P 145], Anhang 1, zu verfüllende Bohrungen (geordnet nach Katasternummer)

Bezeichnung	Doku-Nr.	Ka- taster Nr.	Sohle	betrifft Abdichtung ...	Kategorie gem. Abb. 2-1	Bemerkungen gem. [P 145]
Bohrung II	17YEQ01_RB002	43	-372	A21	5	nicht auffindbar
Bohrung III	17YEQ01_RB003	44	-372	A21	5	nicht auffindbar
Bohrung IV	17YEQ01_RB004	45	-372	A21	5	nicht auffindbar
Bohrung I	17YEQ01_RB001	49	-372	A21	5	nicht auffindbar
Kern- bohrung '51	12YEQ01_RB002	50	-291	A20	4	nur dann erforderlich, wenn der abknickende Teil des Ostquerschlags als Ab- dichtung eingeplant wird
UT I/83	12YEQ21_RB001	53	-291	A04	1	mindestens im Teufen- bereich zwischen Lager B und C zu verfüllen (im LZS: West-Südfeld)
RB 323	17YEQ51_RB323	323	-372	A11	5	Kalibänder werden durchstoßen (im LZS: West-Südfeld)
RB 427	12YEQ01_RB427	427	-291	A05	5	
RB 428	12YEQ01_RB428	428	-291	A05	3	Verbindung zur Abdichtung 1. Sohle
RB 429	12YEQ01_RB429	429	-291	A05	5	
RB 434	12YEQ01_RB434	434	-291	A05	5	
RB 435	12YEQ01_RB435	435	-291	A05	3	Verbindung zur Abdichtung 3. Sohle
RB 436	12YEQ01_RB436	436	-291	A05	5	mit Salzmörtel verfüllt, Monitorstation
RB 437	12YEQ01_RB437	437	-291	A05	5	mit Salzmörtel verfüllt, Monitorstation
RB 606	12YER61_RB606	606	-291	A20 und A21	2	gasführend
RB 619	12YEQ21_RB619	619	-291	A04	1	mindestens im Teufen- bereich zwischen Lager B und C zu verfüllen (im LZS: West-Südfeld)

Gemäß Plan Stilllegung [A 281] kann in Folge des Altbergbaus nicht gänzlich ausgeschlossen werden, dass es Bohrungen gibt, die nicht im Risswerk dokumentiert wurden. Außerdem konnten vier Bohrungen, die im Risswerk verzeichnet sind, bei Erkundungsmaßnahmen nicht aufgefunden werden.⁵ Gemäß [P 145], Anlage 1, handelt es sich dabei um die Bohrungen I bis IV, die als zu verfüllen identifiziert wurden (vgl. Tabelle 2-1). Diese Tatsache nicht auffindbarer (sicherheits-technisch relevanter) Bohrungen wird gemäß [A 281] und [P 145] im Langzeitsicherheitsnachweis durch die durchgeführten probabilistischen Berechnungen berücksichtigt, in denen der Ausfall einzelner Abdichtungen enthalten ist, der auch das potentielle Vorhandensein unbekannter Bohrungen mit einschließt. Gemäß [A 281] wurden die Abdichtungsstandorte jedoch so gewählt, dass die Wahrscheinlichkeit für derartige unentdeckte Bohrungen sehr gering ist. Es wird ausgeführt, dass bei der Herstellung der Abdichtungen noch einmal gezielt nach solchen Bohrungen gesucht werden soll.

Es wird in [A 281] ausgeführt, dass in den zu verfüllenden Bohrungen keine Lösungs- oder Gasaustritte mehr existieren. Zur Überprüfung dieser Aussage im Plan Stilllegung ist es erforderlich, diejenigen Bohrungen zu identifizieren, in denen es gegenwärtig zu Gasaustritten kommt. Eine der gemäß [P 145] qualifiziert zu verfüllenden Bohrungen ist die Bohrung RB606, die nach den Angaben im Bohrkataster des ERAM allerdings bereits verfüllt wurde. Nach Mitteilung der DBE im Rahmen des Fachgesprächs vom 07./08.02.2012 zu PK7 (Streckenverschlüsse) erfolgte dies aufgrund der dort stattfindenden Gasaustritte. Im den Sohlenrissen des ERAM sind Gasaustritte nach unserer Vermutung als gelb markierte Kreise mit der Bezeichnung G und in Klammern angehängter Jahreszahl dargestellt. Bei der Bohrung RB606 sind diese gelben Kreise zusätzlich mit einem X versehen oder durchkreuzt. Es liegt uns keine Legende zum Risswerk vor. Wir können daher nicht erkennen, ob mit dieser Signatur dargestellt wird, dass in der Bohrung keine Gasaustritte mehr stattfinden, oder dass diese (rezenten) Gasaustritte nur infolge der Verfüllung der Bohrung unterbunden wurden. Aus dem Bohrkataster [NN 337] geht für die Bohrung RB606 ebenfalls nicht hervor, zu welchem Zeitpunkt diese Ausstritte stattfanden und ob sie aktuell noch erfolgen.

Wir kommen zu folgendem Hinweis und zu zwei Empfehlungen:

H 1: Wir bitten um Übergabe der Legende zum Risswerk des ERAM.

E 1: Es sollte vom BfS dargelegt werden, ob im Rahmen des Aufbohrens, das zwecks qualifizierter Verfüllung der Bohrung RB606 vorgesehen ist, mit Gasaustritten gerechnet werden muss.

E 2: Es sollte vom BfS dargelegt werden, in welchen der in den Tabellen 3-1 und 3-2 des vorliegenden Berichts als potentiell langzeitsicherheitsrelevant identifizierten Bohrungen gegenwärtig Gasaustritte erfolgen.

⁵ Im Fachgespräch vom 07./08.02.2012 zu PK 7 (Streckenverschlüsse) teilte das BfS mit, dass diese vier Bohrungen mittlerweile aufgefunden wurden.

2.3. Anforderungen an die Abdichtung der untertägigen Bohrungen

Die Abdichtung der Bohrungen soll gemäß [A 281] mit einem quellfähigen Magnesiabinder erfolgen, bestehend aus den Komponenten Magnesiumoxid (Bindemittel), Siedesalz (feinkörniges Steinsalz), Anhydritmehl/Schiefermehl und Magnesiumchlorid-Lösung (Anmischflüssigkeit). Zur Rezeptur des Magnesiabinders ist in [A 281] die nachfolgende Abbildung 2-2 enthalten.

Der Magnesiabinder soll als qualitätsgesicherter, vorkonfektionierter Trockenbaustoff in einer mobilen Misch- und Pumpanlage vor Ort angemischt und unter Druck in die Bohrungen gepresst werden. Wenn abzudichtende Bohrungen verstopft sind, sollen sie aufgebohrt und anschließend qualifiziert verfüllt werden.

In [P 174] wurden zu vier unterschiedlichen Rezepturen jeweils 3 Leitfähigkeitsmessungen durchgeführt. Die hierbei gewonnenen k_f -Werte lagen für Q-Lauge (entspricht etwa IP 21-Lösung) zwischen $2,1 \cdot 10^{-11}$ m/s und $4,2 \cdot 10^{-11}$ m/s. Dies entspricht einer Permeabilität K von $1,2 \cdot 10^{-17}$ m² bis $2,4 \cdot 10^{-17}$ m². Eine der untersuchten Rezepturen („Vorzugsvariante“ 12.1) entsprach der im Plan angegebenen (s. Abb. 2-2). Die für diese Rezeptur gewonnenen k_f -Werte betragen $3,53 \cdot 10^{-11}$ m/s, $3,95 \cdot 10^{-11}$ m/s und $4,13 \cdot 10^{-11}$ m/s. Dies entspricht einer Permeabilität K von $2,0 \cdot 10^{-17}$ m² bis $2,4 \cdot 10^{-17}$ m².

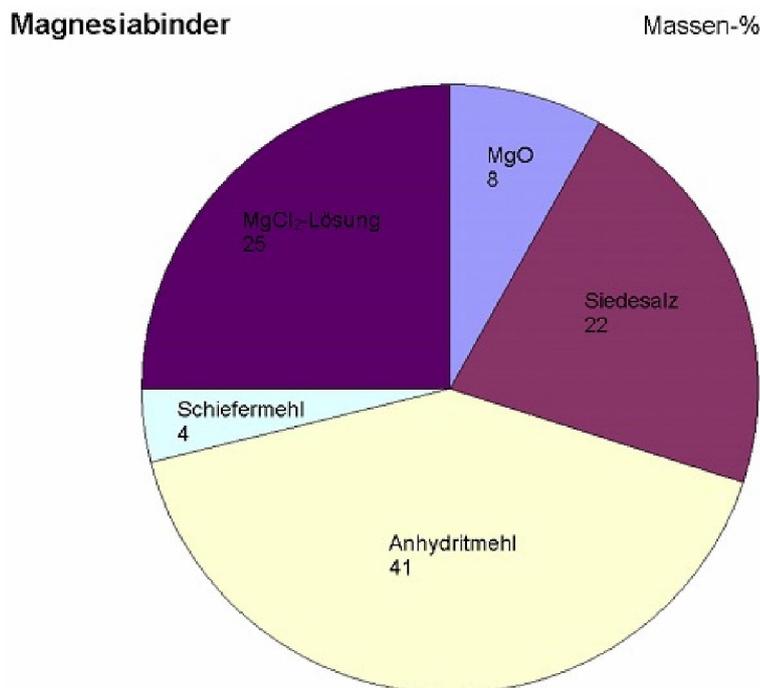


Abb. 2-2: Ausgangsstoffe und Zusammensetzung des Magnesiabinders ([A 281], Abb. 3.1-10)

In den Quellennachweisen für Aussagen im Plan Stilllegung [A 281Q] werden hinsichtlich der Abdichtung untertägiger Bohrungen neben der Unterlage [P 145] auch die Unterlagen [G 148] und [P 174] aufgeführt. In den verschiedenen Unterlagen werden die folgenden Anforderungen an die Verfüllung der Bohrungen formuliert:

- Im Plan [A 281] (S. 132) wird folgende Anforderung an die Verfüllung der Bohrungen erhoben: „*Das Verfüllmaterial für die Bohrungen muss eine Anfangspermeabilität von maximal 10^{-17} m^2 haben. Wegen der geringen Querschnittsfläche der Bohrungen gegenüber der Querschnittsfläche der Abdichtungen ist dann der Transport von Lösungen und Gasen durch die verfüllten Bohrungen im Vergleich zum Transport durch die Abdichtungen vernachlässigbar.*“
- In [G 148] wird für das Verfüllmaterial ein k_f -Wert $< 10^{-10} \text{ m/s}$ (ohne Angabe eines Referenzfluids) gefordert. Für IP 21 entspricht dies einer Permeabilität von $K < 5,7 \cdot 10^{-17} \text{ m}^2$ und für NaCl-gesättigte Lösung von $K < 2 \cdot 10^{-17} \text{ m}^2$.
- Die Unterlage [P 145] enthält keine Anforderungen an die Verfüllung der Bohrungen. Es wird jedoch erwähnt, dass der vorgesehene Baustoff eine Permeabilität von ca. 10^{-17} m^2 aufweist, was auch bei Berücksichtigung von Korrosionseffekten ausreichend gering sei⁶.
- In [P 174] (S. 5) wird als Anforderung an das Verfüllmaterial ein k_f -Wert von 10^{-8} m/s bis 10^{-12} m/s genannt; als Prüfmedium wird auf S. 12 Q-Lauge angegeben.

⁶ Die diesbezügliche Formulierung in [P 174] lautet (S. 13): „*Da die Querschnittsflächen von Bohrungen im Vergleich zum Streckenquerschnitt um Größenordnungen kleiner sind, liegen abweichende Permeabilitätsentwicklungen aufgrund unterschiedlichen Korrosionsverhaltens bei verschiedenen Lösungsmilieus innerhalb der Bandbreite der für die Langzeitsicherheit zu gewährleistenden „Bauteilpermeabilität“ der Abdichtungen.*“

3. BEWERTUNG

3.1. Kriterien für die Ermittlung zu verfüllender untertägiger Bohrungen aus Gründen der Langzeitsicherheit

Bohrungen haben dann einen Einfluss auf die Langzeitsicherheit, wenn ihre Anwesenheit den Austrag von Radionukliden oder sonstigen grundwassergefährdenden Stoffe aus dem Endlager in das Grundwasser oder den Austrag von Radionukliden in die oberflächennahe Biosphäre über den Luft- oder Wasserpfad begünstigt.

Das Konzept des BfS zur Stilllegung des ERAM sieht u. A. vor, den Lösungszutritt zum ERAM zu minimieren und zusätzlich innerhalb des ERAM die Einlagerungsbereiche in Westfeld, Südfeld und Ostfeld mit den radioaktiven Abfällen von der Restgrube gegenüber Fluiden abzdämmen. Für die Langzeitsicherheit des ERAM relevante untertägige Bohrungen können deshalb wie folgt unterteilt werden:

- Bohrungen in der geologischen Barriere zwischen einem Einlagerungsbereich und der Restgrube, differenziert nach
 - Bohrungen im Bereich oder im unmittelbaren Umfeld der Abdichtungen, die eine partielle Umströmung einer einzelnen Abdichtung verursachen können, und
 - Bohrungen im weiteren Umfeld der Abdichtungen, die einen parallelen Fluidweg zu dem Abdichtungssystem zwischen dem ELB und der Restgrube darstellen können,
- Bohrungen in der geologischen Barriere zwischen einem Einlagerungsbereich und potentiell grundwasserführenden Gebirgsbereichen, differenziert nach Deckgebirge, Nebengestein und Liegendem,
- Bohrungen in der geologischen Barriere zwischen der Restgrube und potentiell grundwasserführenden Gebirgsbereichen, differenziert nach Deckgebirge, Nebengestein und Liegendem,
- Bohrungen innerhalb eines Einlagerungsbereichs, die die Freisetzung und Ausbreitung der Radionuklide und sonstigen wassergefährdenden Stoffe innerhalb des Einlagerungsbereichs fördern, sowie
- Bohrungen innerhalb der übrigen Grube, die die Ausbreitung der Radionuklide und sonstigen wassergefährdenden Stoffe innerhalb der Grube fördern.

Von den Schachtröhren ausgehende Bohrungen rechnen wir der Schachtverwahrung (Prüfkomplex 6) zu. Sie werden hier nicht berücksichtigt.

3.1.1. Bohrungen in der geologischen Barriere zwischen einem Einlagerungsbereich und der Restgrube

Die in [A 281] und [P 145] angegebenen Auswahlkriterien (1) bis (5) betreffen ausschließlich Bohrungen in der geologischen Barriere zwischen einem Einlagerungsbereich und der übrigen Grube. Die Auswahlkriterien

- (2) Bohrungen aus einem Einlagerungsbereich oder der Restgrube, die bis in die Nähe einer Abdichtung heranreichen und
- (5) Bohrungen, die auf sonstige Weise die Abdichtungslängen verkürzen können

sind unscharf formuliert. Um sie anwenden zu können, bedarf es einer möglichst quantifizierbaren Definition der Begriffe „in der Nähe“ und „verkürzen“.

Eine Bohrung ist langzeitsicherheitsrelevant, wenn nicht ausgeschlossen werden kann, dass sie im unverfüllten Zustand jetzt oder in Zukunft die Wegsamkeit für Fluide zwischen Grubenteilen erhöht, die durch Abdichtungen getrennt sind.

Wenn eine Bohrung – abgesehen von der unmittelbaren Umgebung ihres Bohransatzpunkts – vollständig von ungestörtem Salzgestein umgeben ist, dann kann sie nicht Teil einer Wegsamkeit sein. Sie kann nur dann Teil einer Wegsamkeit sein, wenn sie jenseits eines Mindestabstands vom Bohransatzpunkt Kontakt mit anderen potentiellen Wegsamkeiten hat. Dies können Grubenbaue (Auffahrungen und andere Bohrungen), aufgelockertes Salzgebirge, alte Hohlräume (z. B. ehemalige Lösungs- oder Gasreservoirs), künftige Hohlräume (aufgrund von Umlöseprozessen) oder Anhydritschollen sein.

Auch dann ist eine Langzeitrelevanz nur gegeben, wenn die Bohrung Teil eines durchgängigen Fließpfads zwischen den durch Abdichtungen getrennten Grubenteilen ist.

Da die Analyse möglicher Fließpfade aufgrund der Komplexität des Grubengebäudes und der geologischen Verhältnisse sowie der Vielzahl der Bohrungen sehr aufwändig ist, ermitteln wir in diesem Bericht zunächst nur „potentiell langzeitsicherheitsrelevante Bohrungen“. Diese sind dadurch charakterisiert, dass sie Anschluss an eine andere potentielle Wegsamkeit haben können, unabhängig davon, ob sie hierdurch Teil eines durchgängigen Fließpfads sind. Für eine Entscheidung über die Notwendigkeit einer Verfüllung ist in einem späteren Schritt zu prüfen, ob die hier identifizierten potentiell relevanten Bohrungen Teil eines (heutigen oder künftigen) durchgängigen Fließpfads sein können.

Für die Ermittlung potentiell langzeitsicherheitsrelevanter Bohrungen verwenden wir die folgenden Kriterien:

(K1) Eine Bohrung ist potentiell langzeitsicherheitsrelevant, wenn

- sie eine Hauptanhydritscholle aufschließt und
- diese mit einer Abdichtung oder mit einem Grubenbau jenseits vorgesehener Abdichtungen (d. h. in einem durch Abdichtungen abzutrennenden Grubenteil) in Kontakt stehen könnte.

Durch dieses Kriterium soll die abschnittsweise oder vollständige Umströmung von Abdichtungen über die Bohrung und potentielle Wegsamkeiten in der aufgeschlossenen Hauptanhydritscholle ausgeschlossen werden.

(K2) Eine Bohrung ist potentiell langzeitsicherheitsrelevant, wenn

- ihr Bohransatzpunkt in einem ELB (Süd-, West- oder Ostfeld) liegt,
- sie ein Kalilager aufschließt und
- der durch die Bohrung aufgeschlossene Bereich des Kalilagers für Umlöseprozesse von der Restgrube aus zugänglich ist.

Durch dieses Kriterium soll die Umströmung von Abdichtungen über die Bohrung und Wegsamkeiten in einem nach dem Volllaufen der Restgrube durch Umlöseprozesse angegriffenen Kalilager ausgeschlossen werden.

(K3) Eine Bohrung ist potentiell langzeitsicherheitsrelevant, wenn

- ihr Bohransatzpunkt im Bereich eines vorgesehenen Abdichtungselements liegt und
- ihr Winkel zur Strecke kleiner oder gleich einem Grenzwinkel ist.

Nach [P 195] ist bei den meisten Abdichtungen vorgesehen, diese aus mehreren Abdichtungselementen zu errichten⁷. Die Abdichtungselemente sollen Längen zwischen 15 m und 30 m aufweisen. Zwischen den Abdichtelementen soll die Strecke „nicht qualifiziert“ verfüllt werden. Der Streckenabschnitt, in dem die verschiedenen Abdichtelemente und Zwischenverfüllungen errichtet werden sollen, wird von uns als Abdichtungsstandort bezeichnet.

Durch das Kriterium (K3) soll die Ausbildung einer Auflockerungszone im Nahfeld eines Abdichtungselements verhindert werden. Jede Bohrung, deren Bohransatzpunkt im Bereich eines Abdichtungselements liegt, kann hier zu einer lokalen Auflockerung des Gebirges führen. Das höchst mögliche Maß an Vorsorge würde bedeuten, alle Bohrungen im Bereich der Abdichtungselemente zu verfüllen, was einem Grenzwinkel von 90° entspricht.

⁷ Lediglich die Streckenabdichtungen A08 und A11 sollen – aus Platzgründen – jeweils aus einem Abdichtelement mit einer Länge von 26 m bestehen.

Die auflockernde Wirkung einer unverfüllten Bohrung auf das Gebirge in unmittelbarer Streckennähe ist umso größer, je geringer der Winkel zwischen der Bohrung und der Strecke ist. Sofern das vorsorgliche Verfüllen aller Bohrungen im Bereich der Abdichtungselemente als unverhältnismäßig angesehen wird, sollte ein Grenzwinkel $< 90^\circ$ abgeleitet werden, für den die Ausbildung einer lokalen Auflockerungszone im streckennahen Gebirge ausgeschlossen werden kann, und es sollten alle Bohrungen verfüllt werden, deren Winkel zur Strecke kleiner als dieser Grenzwinkel sind.

Die Verfüllung dieser Bohrungen erfolgt nicht zur hydraulischen Abdichtung einer bestehenden Wegsamkeit, sondern zur Beseitigung von Hohlraum in dem die Strecke unmittelbar umgebenden Gebirge zur Vermeidung der Ausbildung einer künftigen Wegsamkeit. An die Verfüllung der Bohrlöcher, die ausschließlich aufgrund des Kriteriums (K3) verfüllt werden, bestehen deshalb keine besonderen hydraulischen Anforderungen.

(K4) Eine Bohrung ist potentiell langzeitsicherheitsrelevant, wenn

- ihr Bohransatzpunkt im Bereich eines vorgesehenen Abdichtungsstandorts liegt und
- sie sich einer anderen Auffahrung (einschließlich den von dieser Auffahrung ausgehenden Bohrungen) auf mehr als 26 m nähert.

Durch dieses Kriterium soll eine abschnittsweise Umströmung einer Abdichtung über die Bohrung und die andere Auffahrung bzw. deren Auflockerungszone ausgeschlossen werden. Bei der Wahl des Abstandskriteriums orientieren wir uns an der Länge der kürzesten Abdichtung zwischen Südfeld und Restgrube, d. h. an der geringsten Mächtigkeit der geologischen Barriere zwischen diesen Grubenteilen.

Dem Kriterium liegt die Annahme zugrunde, dass eine geologische Barriere aus Salzgestein von 26 m ausreichend ist, um geologischen Unwägbarkeiten (z. B. Wegsamkeiten aufgrund alter Lösungs- und Gaseinschlüsse) sowie bergbaulich bedingten Veränderungen des Spannungszustands (die zu einer Verletzung des Dilatanzkriteriums oder des Fluiddruckkriteriums führen können) ausreichend Rechnung zu tragen. Diese Annahme ist in einem späteren Schritt auf der Basis geomechanischer Modellrechnungen zu überprüfen.

(K5) Eine Bohrung ist potentiell langzeitsicherheitsrelevant, wenn

- ihr Bohransatzpunkt im Bereich eines vorgesehenen Abdichtungsstandorts liegt,
- sie sich einer anderen Bohrung, die von dem gleichen vorgesehenen Abdichtungsstandort ausgeht, nähert, so dass ihr minimaler Abstand (signifikant) kürzer als der ihrer Bohransatzpunkte ist, und
- dieser minimale Abstand weniger als 26 m beträgt.

Durch dieses Kriterium soll eine abschnittsweise Umströmung der Abdichtung über die Bohrungen ausgeschlossen werden. Als Abstandskriterium wählen wir das gleiche wie bei Kriterium (K4).

(K6) Eine Bohrung ist potentiell langzeitsicherheitsrelevant, wenn

- ihr Bohransatzpunkt nicht im Bereich eines vorgesehenen Abdichtungsstandorts liegt und
- sie sich einer anderen Auffahrung (inkl. Bohrung), die in einem durch Abdichtungen abzutrennenden Grubenteil liegt, auf mehr als 26 m nähert.

Hierdurch soll die Ausbildung eines zu den Abdichtungen parallelen Fließwegs über die Bohrung und die andere Auffahrung bzw. deren Auflockerungszone ausgeschlossen werden. Bei der Wahl des Abstandskriteriums orientieren wir uns an der Länge der kürzesten Abdichtung zwischen Südfeld und Restgrube, d. h. an der geringsten Mächtigkeit der geologischen Barriere zwischen diesen Grubenteilen.

3.1.2. Bohrungen in der geologischen Barriere zwischen Einlagerungsbereich und potentiell grundwasserführenden Gebirgsbereichen

Zu diesen Bohrungen werden vom BfS keine Kriterien angegeben.

Da es Bohrungen aus den ELB heraus in Richtung der Ränder des Salzstocks gibt, halten wir es für erforderlich, hier begründete Abstandskriterien

- zur Flanke des Salzstocks,
- zum Salzspiegel,
- zum Liegenden des Salzstocks und
- zu Anhydritschollen, die mit dem Gebirge außerhalb des Salzstocks in hydraulischem Kontakt stehen können,

einzuführen.

3.1.3. Bohrungen in der geologischen Barriere zwischen der Restgrube und grundwasserführenden Gebirgsbereichen

Zu diesen Bohrungen werden vom BfS keine Kriterien angegeben.

Da es Bohrungen aus dem übrigen Grubengebäude heraus in Richtung der Ränder des Salzstocks gibt, halten wir es auch für erforderlich, begründete Abstandskriterien

- zur Flanke des Salzstocks,
- zum Salzspiegel,
- zum Liegenden des Salzstocks und
- zu Anhydritschollen, die mit dem Gebirge außerhalb des Salzstocks in hydraulischem Kontakt stehen können,

einzuführen.

3.1.4. Bohrungen innerhalb eines Einlagerungsbereichs

Diese Kategorie von Bohrungen wird vom BfS nicht berücksichtigt.

Bohrungen können nur dann einen signifikanten Einfluss auf die Freisetzung und Ausbreitung der Radionuklide und der sonstigen wassergefährdenden Stoffe innerhalb der Einlagerungsbereiche haben, wenn sie zwei Grubenbaue miteinander verbinden, zwischen denen es nach der Verwahrung keine sonstigen offenen Auffahrungen (Stecken, Blindschächte, Überhauen, Rolllöcher) mehr gibt. Hierbei ist auch das Nordfeld als Einlagerungsbereich, dessen Abdichtung vom BfS nicht vorgesehen ist, zu berücksichtigen.

Ob es solche Bohrungen gibt und ob sie einen signifikanten Einfluss auf die Langzeitsicherheit haben können, sollte in einer künftigen Phase zur Bewertung der Langzeitsicherheit geprüft werden.

3.1.5. Bohrungen innerhalb der übrigen Grube

Diese Kategorie von Bohrungen wird vom BfS nicht berücksichtigt.

Bohrungen können nur dann einen signifikanten Einfluss auf die Ausbreitung der Radionuklide und der sonstigen wassergefährdenden Stoffe innerhalb der übrigen Grube haben, wenn sie zwei Grubenbaue miteinander verbinden, zwischen denen es nach der Verwahrung keine sonstigen offenen Auffahrungen (Stecken, Blindschächte, Überhauen, Rolllöcher) mehr gibt.

Hierbei ist insbesondere die Verbindung zwischen dem Lösungszutrittsbereich in Lager H und der übrigen Grube Marie sowie die Verbindung zwischen der Grube Marie (als wahrscheinlicher Zutrittsbereich für Grubenwässer) und der Grube Bartensleben zu berücksichtigen.

Ob es solche Bohrungen gibt und ob sie einen signifikanten Einfluss auf die Langzeitsicherheit haben können, sollte in einer künftigen Phase zur Bewertung der Langzeitsicherheit geprüft werden.

3.2. Identifizierung potentiell relevanter untertägiger Bohrungen

Im Rahmen dieses Gutachtens beschränken wir uns auf die Identifizierung der Bohrungen in der geologischen Barriere zwischen den Einlagerungsbereichen Südfeld, Westfeld und Ostfeld und der übrigen Grube (entsprechend Abschnitt 3.1.1).

In Tabelle 3-1 sind die in Anhang 1 identifizierten Bohrungen im Bereich der Abdichtungsstandorte aufgeführt. In der vierten Spalte ist angegeben, welches der o. g. Kriterien für eine potentielle Relevanz hinsichtlich der Langzeitsicherheit des ERAM erfüllt wird. Die Angaben bezüglich des Kriteriums (K3) sind als beispielhaft zu verstehen, es wird hier ein Grenzwinkel von 45° unterstellt. Auf die Ermittlung von Anforderungen an die hydraulischen Eigenschaften der Bohrlochverfüllung hat dieses Kriterium keinen Einfluss, da hier die Verfüllung ausschließlich zur Beseitigung von streckennahem Gebirgshohlraum dient.

Das Einklammern eines Kriteriums in Spalte 4 der Tabelle bedeutet, dass es nicht erfüllt ist, wenn die Abdichtelemente so positioniert werden, wie in [P 195], Anlagen 3 bis 12, angegeben ist. Sofern die Abdichtelemente jedoch an anderer Stelle (innerhalb des Abdichtungsstandorts) errichtet werden sollen, ist eine Überprüfung hinsichtlich der Bohrungen erforderlich, bei denen Kriterien in Klammern gesetzt sind.

In Tabelle 3-2 sind die in Anhang 2 identifizierten potentiell langzeitsicherheitsrelevanten Bohrungen im weiteren Umfeld der Abdichtungsstandorte aufgeführt.

Aus den Tabellen 3-1 und 3-2 geht hervor, dass nur ein Teil der Bohrungen, die mindestens eines der von uns aufgestellten Kriterien (K1) bis (K6) erfüllen, gemäß [P 145] qualifiziert verfüllt werden sollen. Das Nichtverfüllen dieser Bohrungen kann aufgrund ihrer Länge oder/und Lage berechtigt sein, sollte aber für jede Bohrung vom BfS begründet werden:

E 3: In den Tabellen 3-1 und 3-2 sind zahlreiche Bohrungen aufgeführt, die mindestens eins der Kriterien (K1), (K2), (K4), (K5) und (K6) erfüllen, die aber bei den gemäß [P 145] qualifiziert zu verfüllenden Bohrungen nicht erwähnt werden. Dies sollte vom BfS für jeden Einzelfall begründet werden.

Für die folgende Ableitung von Anforderungen an die Abdichtung von Bohrungen berücksichtigen wir abdeckend alle in den Tabellen 3-1 und 3-2 aufgeführten Bohrungen, bei denen mindestens eins der Kriterien (K1), (K2), (K4), (K5) und (K6) erfüllt ist.

Tabelle 3-1: Bohrungen im Bereich der Abdichtungsstandorte

Abdichtung	Bohrung	Verfüllung gem. [P 145]	erfüllte Kriterien	Bemerkungen
A02	RA298		(K4)	Bohransatzpunkt liegt nach [P 195] Anlage 3 vor dem ersten Abdichtungselement (von SF aus)
	RA442		--	
	RA443		--	
	RA444		--	
	RA445		--	
	RB031		--	
	RB032		--	
	RB428	ja	K4	Firstbohrung, reicht bis zur Abdichtung A05 hinab
unbenannt		(K4)	Bohransatzpunkt liegt nach [P 195] Anlage 3 vor dem ersten Abdichtungselement (von SF aus)	
A05	RA446	nein	K4	Abstand < 26 m zu RB335, zu Auffahrung im E und zum Bremsberg
	RA447	nein	K4	Abstand < 26 m zum Bremsberg
	RA448		--	
	RA449	nein	K4	Sohlenbohrung, reicht bis Zwischensohle -296; dort ist der Abstand < 26 m zum Bremsberg
	RA543		--	
	RA544		--	
	RA545		--	
	RA546		--	
	RB013	nein	K4, K5	Abstand < 26 m zu RB023 und RB335, zum Auffahrung im E und zum Bremsberg; außerdem Länge ungeklärt
	RB308		(K4)	Bohransatzpunkt liegt nach [P 195] Anlage 4 vor dem ersten Abdichtungselement (von SF aus)
	RB309		--	Bohransatzpunkt liegt außerhalb des Abdichtungsbereichs
	RB335		--	Bohransatzpunkt liegt außerhalb des Abdichtungsbereichs
	RB378		--	Bohransatzpunkt liegt außerhalb des Abdichtungsbereichs
	RB427	ja	(K3), K5	Abstand zu RB429 und RB436 < 26 m; Kriterium K3: Bohransatzpunkt liegt außerhalb der vorgesehenen Standorte der Abdichtungselemente
	RB428	ja	K4	Firstbohrung, reicht bis zur Abdichtung A02 hoch bzw. bis knapp unter die Sohle, Abstand < 26 m
	RB429	ja	K5	Abstand zu RB427 und RB434 < 26 m
	RB430		--	Abdichtung A05 und A06 werden als Einheit betrachtet, daher Abstandskriterium hier nicht relevant
	RB431		--	Abdichtung A05 und A06 werden als Einheit betrachtet, daher Abstandskriterium hier nicht relevant
	RB432		--	Abdichtung A05 und A06 werden als Einheit betrachtet, daher Abstandskriterium hier nicht relevant
	RB433		--	Abdichtung A05 und A06 werden als Einheit betrachtet, daher Abstandskriterium hier nicht relevant
	RB434	ja	(K3), K5	Abstand zu RB429 und RB436 < 26 m; Kriterium K3: Bohransatzpunkt liegt außerhalb der vorgesehenen Standorte der Abdichtungselemente
	RB435	ja	K4	Sohlenbohrung; reicht bis -320,4 m hinab; Abstand zum Abdichtungsstandort A09 < 26 m
	RB436	ja	K5	Abstand zu RB427 und RB434 < 26 m
	RB437	ja	K4	geneigte Sohlenbohrung, Endpunkt bei -313,4 mNN; Abstand zu Abdichtungsstandort A09 < 26 m.
RB477		--	Abdichtung A05 und A06 werden als Einheit betrachtet, daher Abstandskriterium hier nicht relevant	
RB478		--	Abdichtung A05 und A06 werden als Einheit betrachtet, daher Abstandskriterium hier nicht relevant	
RB479		--	Abdichtung A05 und A06 werden als Einheit betrachtet, daher Abstandskriterium hier nicht relevant	
RB481		--	Abdichtung A05 und A06 werden als Einheit betrachtet, daher Abstandskriterium hier nicht relevant	
A06	RA474	nein	K4	min. Abstand zu Auffahrung im Südosten beträgt ca. 25 m
	RA475		--	
	RA476		--	
	RA477		--	
	RB053 bis RB070		--	
	RB439		--	Abdichtung A05 und A06 werden als Einheit betrachtet, daher Abstandskriterium hier nicht relevant
RB480		--	Abdichtung A05 und A06 werden als Einheit betrachtet, daher Abstandskriterium hier nicht relevant	
A09	RA295	nein	K4	Abstand zu Auffahrungen im Westen < 26 m
A11	RB323	ja	K6	Abstand zu Auffahrung im Südfeld < 26 m
A13	RA482 bis RA485		--	
	RA579 bis RA582		--	
	UT 1/88		(K3)	Winkel < 45°; Bohransatzpunkt liegt nach [P 195] Anlage 4 jedoch vor dem ersten Abdichtungselement (von Bartensleben aus)
	UT 1/89	nein	K3	Winkel < 45°; Bohransatzpunkt bzw. heutige Position der Bohrung im Abdichtungsbereich unklar, da Bohrung z. T. überfahren wurde
	UT 2/89	nein	K3	Winkel < 45°
RB333		(K3)	Winkel < 45°; Bohransatzpunkt liegt nach [P 195] Anlage 6 jedoch vor erstem Abdichtungselement (von Marie aus)	
A14	Altbohrung 1910 n. W.		--	
	Altbohrung 1910 n. O.	nein	K4	Abstand < 26 m zu Auffahrungen im Norden sowie (in horizontaler Erstreckung) zu den Bohrungen UT 5/59 und UT 5 A/59, allerdings werden nur 20 m von 200 m potentiell betroffen
A18	RB001 bis RB037	nein	K3, K4	z.T. ggf. mit Winkel < 45°, Abstand zu Auffahrungen im Nordosten < 26 m
A20	RA422 bis RA425		--	
	RA519 bis RA522	nein	K4	Abstand < 26 m zu Auffahrungen im Ostfeld oder zu RB606 (Bohrlänge allerdings nur 2,1 m)
	„Kernbohrung 1951“	ja	K3, K4	Winkel < 45° und Abstand < 26 m zu Auffahrungen im Ostfeld
	RB004		--	
	RB009		(K3)	Winkel < 45°; Bohransatzpunkt liegt nach [P 195] Anlage 5 zwischen der vorgesehenen Position von zwei Abdichtungselementen
RB606	ja	K1, K2	erschließt Hauptanhydrit und Kaliflöz Staßfurt	
A21	Bohrung I	ja	K1	Hauptanhydrit erbohrt; nähert sich zudem dem Abdichtungsstandort A20 an
	Bohrung II	ja	K1	Hauptanhydrit erbohrt; nähert sich zudem dem Abdichtungsstandort A20 an
	Bohrung III	ja	K1	Hauptanhydrit erbohrt; nähert sich zudem dem Abdichtungsstandort A20 an
	Bohrung IV	ja	K1	Hauptanhydrit erbohrt; nähert sich zudem dem Abdichtungsstandort A20 an
	RB041	nein	K1, K3	Winkel < 45° und Hauptanhydrit erbohrt
	RB442	nein	K1	Hauptanhydrit erbohrt
	RB449	nein	K1	Hauptanhydrit erbohrt
	RB520	nein	K1	Hauptanhydrit erbohrt (Bohrlänge allerdings nur 0,5 m)
RB521	nein	K1	Hauptanhydrit erbohrt (Bohrlänge allerdings nur 0,5 m)	

Tabelle 3-2: Bohrungen im weiteren Umfeld der Abdichtungsstandorte

Bereich	Bohrung	Verfüllung gem. [P 145]	erfüllte Kriterien	Bemerkungen
Geologische Barriere zwischen Südfeld und Restgrube Bartensleben / Bohrungen nördlich der Ostquerschläge	RB619	ja	K1, K2	Hauptanhydrit sowie Kalilager B und C erbohrt
	UT I/83	ja	K1, K2	keine Angaben zum Schichtenverzeichnis; aufgrund der benachbarten Lage zur RB619 wurden vmtl. Hauptanhydrit sowie Kalilager B und C erbohrt
	UT 5 A/55	nein	K1	Hauptanhydrit erbohrt
	UT 5/59	nein	K1	Hauptanhydrit erbohrt
	UT 03/53	nein	K1	Hauptanhydrit erbohrt
	RB496		--	
	RB460	nein	K1	Hauptanhydrit erbohrt
	RB453		--	
	RB461		--	
	RB497		--	
	RB454		--	
UT 2/53 n.W.	nein	K1	Hauptanhydrit erbohrt	
UT 1/52	nein	K1	Hauptanhydrit erbohrt	
Geologische Barriere zwischen Südfeld und Restgrube Bartensl. / Bohrungen südlich der Ostquerschläge	09YEA51/RB011		--	
	09YEA51/RA294		--	
	17YER31/RB709	nein	K1	Hauptanhydrit erbohrt
	UT I/55	nein	K1	Hauptanhydrit erbohrt
	UT II/55	nein	K1	Hauptanhydrit erbohrt
Geologische Barriere zwischen Südfeld und Westfeld	RB005		--	
	RB327		--	
	RB328		--	
	RB331		--	
	RB394		--	
	RB395		--	
	RB396		--	
Geologische Barriere zwischen Ostfeld und der Restgrube Bartensleben	RB603	nein	K1, K2	Hauptanhydrit und Kalilager E erbohrt
	RB604	nein	K1	Hauptanhydrit erbohrt
	RB385	nein	K1	Hauptanhydrit erbohrt
	RB609	nein	K1	Hauptanhydrit erbohrt
	RB611	nein	K1	vmtl. Hauptanhydrit erbohrt
	RB608	nein	K1	Hauptanhydrit erbohrt
	UT III/55	nein	K1	Hauptanhydrit erbohrt
	UT IV/55		--	
	UT 05/55		--	

3.3. Anforderungen an die Abdichtung der untertägigen Bohrungen

3.3.1. Vorüberlegungen

Bei den Langzeitsicherheitsanalysen [P 277] und [P 278] werden die bekannten untertägigen Bohrungen nicht explizit berücksichtigt. Der Lösungs- und Gasfluss erfolgt im Modell ausschließlich über die Streckenabdichtungen. Dies impliziert die Annahme, dass die Lösungs- und Gasflüsse über die bekannten Bohrungen gegenüber den Flüssen durch die Streckenabdichtungen vernachlässigt werden können.

Hieraus ergibt sich unmittelbar die Forderung F 1:

F 1: Der Lösungsfluss in einen bzw. aus einem hydraulisch abgetrennten ELB über die Bohrungen muss zu allen Zeiten klein gegenüber dem Lösungsfluss über das jeweilige Abdichtungssystem sein.

Vom BfS werden dagegen entsprechend Abschnitt 2.3 nur Anforderungen an die anfängliche Permeabilität der Bohrlochverfüllung gestellt. Wir zeigen unten, dass dies nicht ausreichend ist.

Analog wäre zur Rechtfertigung der entsprechenden Modellansätze in [P 277] und [P 278] auch die Forderung zu stellen, dass der Gasfluss aus einem abgedichteten ELB über die Bohrungen klein gegenüber dem Gasfluss über das Abdichtungssystem sein muss⁸. Allerdings weisen die in [P 277] durchgeführten Berechnungen darauf hin, dass ein Entweichen der Gase aus den Einlagerungsbereichen zu einer Verringerung der lösungsgetragenen Stoffausträge aus dem ELB führt: Die für die Fälle „ohne Gaspolster“ und „mit Gaspolster, mit Gasfluss“ berechneten Dosiswerte liegen unter den für den Fall „mit Gaspolster, ohne Gasfluss“ berechneten Dosiswerten. Das Vernachlässigen eines möglichen Gasflusses über die verfüllten Bohrungen wäre danach konservativ und die Forderung nach gasdicht zu verfüllenden Bohrungen wäre kontraproduktiv.

Im Folgenden gehen wir von der Annahme aus, dass ein Entweichen der Gase aus den Einlagerungsbereichen über Bohrungen nicht zu einer Erhöhung der berechneten Dosiswerte aufgrund von Radionuklidausträgen führen würde, und beschränken uns auf die Forderung F 1. Die Gültigkeit dieser Annahme ist jedoch durch Berechnungen mit einem entsprechend angepassten Modell zu verifizieren. Wir geben an dieser Stelle den Hinweis:

H 2: Die Annahme, dass ein Entweichen der Gase aus den Einlagerungsbereichen über Bohrungen nicht zu einer Erhöhung der berechneten Dosiswerte aufgrund von Radionuklidausträgen führen kann, sollte im Rahmen der Prüfung der LSA durch Berechnungen mit einem entsprechend erweiterten Modell überprüft werden.

Unter dieser Annahme hat die Abdichtung einer Bohrung nur dann einen Einfluss auf die Langzeitsicherheit, wenn hierdurch der potentielle Lösungsfluss durch die Bohrung signifikant verringert wird. In den meisten Fällen stellen die Bohrungen keine direkte Verbindung zwischen zwei Grubenbauen dar, so dass es nach ihrer Verfüllung neben dem hydraulischen Widerstand der Verfüllung immer auch noch einen zusätzlich wirkenden Fließwiderstand des Gebirges gibt.

⁸ Ein Gaszufluss in die abgedichteten ELB kann aufgrund der Druckverhältnisse in der Grube nicht erfolgen.

Die Abdichtung der Bohrung hat in diesen Fällen nur dann eine (positive) Auswirkung auf die Langzeitsicherheit, wenn der Widerstand der abgedichteten Bohrung mindestens in der Größenordnung des unterstellten Gebirgswiderstands im Umfeld der Bohrung liegt.

Die gegenwärtig bestehenden Gebirgswiderstände im Umfeld der Bohrungen (bzw. ihre untere Grenze) könnten mittels hydraulischer Tests in den Bohrungen ermittelt werden. Hierzu liegen uns jedoch keine Untersuchungen vor. Sofern ausgeschlossen werden kann, dass es zu einer künftigen Verringerung des Gebirgswiderstands kommen kann (z. B. aufgrund einer Erweiterung der Auflockerungszonen oder aufgrund von Umlöseprozessen), könnte so der künftige Gebirgswiderstand im Umfeld der Bohrungen abgeschätzt werden.

Unabhängig von den Ergebnissen solcher Untersuchungen gilt jedoch grundsätzlich:

- Sofern für eine Bohrung gewährleistet werden kann, dass der (künftige) hydraulische Widerstand des durch die Bohrung erschlossenen Gebirgsbereichs ausreichend groß ist um die betroffenen Grubenbaue hydraulisch zu trennen, ist die Verfüllung der Bohrung nicht erforderlich bzw. bestehen aus Gründen der Langzeitsicherheit keine Anforderungen an die Verfüllung der Bohrung.
- Sofern für eine Bohrung nicht gewährleistet werden kann, dass der (künftige) hydraulische Widerstand des durch die Bohrung erschlossenen Gebirgsbereichs ausreichend groß ist, muss die Abdichtung der Bohrung den wesentlichen Beitrag zur hydraulischen Trennung der betroffenen Grubenbaue liefern. Die sich aus Gründen der Langzeitsicherheit ergebenden Anforderungen an den hydraulischen Widerstand müssen dann i. W. von der Abdichtung der Bohrung alleine erfüllt werden, unabhängig von dem (als dagegen kleiner unterstellten) hydraulischen Widerstand des erschlossenen Gebirgsbereichs.

3.3.2. Bewertung der Anforderungen des BfS

Aus den Angaben in Abschnitt 2.3 geht unmittelbar hervor, dass die in den Unterlagen [A 281], [P 145], [G 148] und [P 174] formulierten Anforderungen an die Verfüllung der untertägigen Bohrungen voneinander abweichen. Weiterhin erfüllt das in [P 174] untersuchte Material nicht die in [A 281] gestellten Anforderungen an die Permeabilität, obwohl es der in [A 281] angegebenen Rezeptur entspricht. Wir kommen deshalb zu folgenden Hinweisen und Empfehlungen:

H 3: In den Unterlagen des BfS werden unterschiedliche Anforderungen an das Verfüllmaterial der Bohrungen gestellt.

E 4: Vom BfS sollten die Anforderungen an die Verfüllung der untertägigen Bohrlöcher in den verschiedenen Unterlagen vereinheitlicht werden.

H 4: Die im Plan angegebene Rezeptur für das Verfüllmaterial der Bohrungen entspricht der in [P 174] untersuchten Rezeptur mit der höchsten Permeabilität. Dieses Material erfüllt nach [P 174] nicht die im Plan genannten Anforderungen für das Verfüllmaterial der Bohrungen.

E 5: Vom BfS sollte der Nachweis erbracht werden, dass das für die Verfüllung der untertägigen Bohrlöcher vorgesehene Material die geforderten Eigenschaften aufweist.

Unabhängig von diesen Inkonsistenzen in den Angaben der vorliegenden Unterlagen stellen wir fest, dass die pauschal (d. h. bohrlochunabhängig) geforderte anfängliche Permeabilität bzw. die fehlende Berücksichtigung der Korrosionsbeständigkeit nicht ausreichend begründet wird. Dies soll an folgendem Beispiel illustriert werden:

Der Streckenquerschnitt der Abdichtungen zwischen Südfeld und Restgrube beträgt typischerweise 18 m². Ein durch Nachbohrung auf 200 mm Durchmesser erweitertes Bohrloch weist einen Querschnitt von 0,0314 m² auf. Das Querschnittsverhältnis beträgt somit ca. 570:1. Bei einer effektiven anfänglichen Permeabilität des verfüllten Bohrlochs von $2 \cdot 10^{-17}$ m² (d. h. bei dem in [P 174] ermittelten Wert) würde der anfängliche Lösungsfluss durch die verfüllte Bohrung nur ca. 1/30 des anfänglichen Flusses durch die Streckenabdichtung betragen und könnte vernachlässigt werden. Allerdings würde eine solche Permeabilität zu einer gegenüber der Streckenabdichtung verstärkten spezifischen Durchströmung (ausgedrückt als Lösungsfluss pro Querschnittsfläche) des verfüllten Bohrlochs führen. Bei gleicher chemischer Beständigkeit würde dies zu einer beschleunigten Korrosion der Bohrlochverfüllung führen. Sofern die Streckenabdichtung und das verfüllte Bohrloch die gleiche Länge und das gleiche Korrosionsverhalten (in Abhängigkeit von der durchströmten Lösungsmenge) aufweisen, wäre die Bohrlochverfüllung im Vergleich zur Streckenabdichtung schon nach einem 1/20 der Zeit korrodiert⁹. Unterstellt man für das vollständig korrodierte Verfüllmaterial der Bohrung eine Permeabilität von 10^{-14} m², würde die über das Bohrloch fließende Lösungsmenge dann um einen Faktor 17,5 über der durch die Streckenabdichtung fließenden Menge liegen.

Wir kommen deshalb zu folgendem Prüfergebnis:

H 5: Die Ableitung bzw. die Begründung der (bohrlochunabhängigen) Anforderungen des BfS an die Verfüllung der Bohrungen ist unvollständig.

Eine Vervollständigung der Ableitung bzw. der Begründung kann auf verschiedenen Wegen erreicht werden:

- (a) Ableitung und Formulierung zusätzlicher Anforderungen an die Bohrlochverfüllung (z. B. hinsichtlich der chemischen Beständigkeit).
- (b) Ableitung der Anforderungen an die Bohrlochverfüllung nicht ausgehend von einem Vergleich mit den Streckenabdichtungen, sondern ausgehend von einem maximal zulässigen Lösungsfluss in den Einlagerungsbereich.
- (c) Ableitung und Formulierung bohrlochspezifischer Anforderungen unter Berücksichtigung der konkreten geometrischen Verhältnisse.

Diese Möglichkeiten werden im Folgenden erläutert.

⁹ Für die Streckenabdichtung wird hier eine effektive Permeabilität von 10^{-18} m² unterstellt.

Ableitung und Formulierung zusätzlicher Anforderungen an die Bohrlochverfüllung

Oben legen wir dar, dass das Korrosionsverhalten der Bohrlochverfüllung nicht vernachlässigt werden kann und dass die Begrenzung der anfänglichen Permeabilität der Bohrlochverfüllung auf einen Wert im Bereich von 10^{-17} m² nicht (bohrlochunabhängig) die langfristige Einhaltung der Forderung F 1 sicherstellt. Um deren Einhaltung nicht nur anfänglich, sondern auch über lange Zeiträume sicherzustellen, darf die Bohrlochverfüllung nicht schneller korrodieren als das System der Streckenabdichtungen. Es müssen entsprechende zusätzliche Anforderungen an die Bohrlochverfüllung gestellt werden.

Ein möglicher Satz von Anforderungen zur Einhaltung der Forderung F 1 lautet:

- Ø Die anfängliche effektive (d. h. über die Querschnittsfläche gemittelte) Permeabilität der Bohrlochverfüllung darf die der Streckenverfüllung nicht überschreiten.
- Ø In den verfüllten Bohrungen darf es keine Vorzugsfließwege (z. B. Risse in Längsrichtung oder eine hydraulisch wirksame Kontaktfuge) geben.
- Ø Die chemische Beständigkeit des Materials der Bohrlochverfüllung muss mindestens so groß sein wie die des Materials für die Streckenabdichtung.

Die erste dieser Anforderungen wird von dem in [P 174] untersuchten Material nicht erfüllt (Überschreitung um den Faktor 20).

Dieser Mangel könnte jedoch durch eine entsprechend größere chemische Beständigkeit des Verfüllmaterials oder durch eine ausreichend niedrige Permeabilität auch des korrodierten Verfüllmaterials ausgeglichen werden. Ein möglicher alternativer Satz an Anforderungen an die Bohrlochverfüllung zur Erfüllung der Forderung F 1 könnte deshalb wie folgt formuliert werden:

- Ø Die anfängliche Permeabilität der Bohrlochverfüllung darf die der Streckenverfüllung nicht um mehr als einen Faktor F überschreiten.
- Ø In den verfüllten Bohrungen darf es keine Vorzugsfließwege (z. B. Risse in Längsrichtung oder eine hydraulisch wirksame Kontaktfuge) geben.
- Ø Die chemische Beständigkeit des Materials der Bohrlochverfüllung muss mindestens um den Faktor F größer sein als die des Materials für die Streckenabdichtung.

Die maximal zulässige Größe des Faktors F hängt von der Anzahl und den Abmessungen der Bohrungen ab. Bei der Ermittlung und Festlegung von F empfiehlt sich deshalb eine bohrlochspezifische Vorgehensweise (s. u.).

Ableitung der Anforderungen aus einem maximal zulässigen Lösungszufluss in den ELB

Die Forderung F 1 wurde aus der impliziten Annahme der LSA-Modelle abgeleitet, dass die Wasserwegsamkeit der bekannten und verfüllten Bohrungen klein gegenüber der des Systems der abgedichteten Strecken zwischen dem jeweiligen ELB und der Restgrube ist. Alternativ kann auch die Forderung formuliert werden, dass der Lösungsfluss durch die verfüllten Bohrungen so gering ist, dass er die Langzeitsicherheit des ERAM nicht beeinträchtigt. Da entsprechend der obigen Überlegung die Korrosion der Bohrlochverfüllung nicht bohrlochunabhängig ausgeschlossen werden kann, muss die Forderung auch bei korrodiertem Bohrlochverfüllung erfüllt sein:

F2: Der Lösungsfluss durch die korrodierten Bohrlochverfüllungen muss so gering sein, dass er die Langzeitsicherheit des ERAM nicht beeinträchtigt.

Zur Einhaltung dieser Anforderung ist lediglich die folgende Anforderung an die Bohrlochverfüllung zu erfüllen:

Ø Die effektive (d. h. über die Querschnittsfläche gemittelte) Permeabilität der korrodierten Bohrlochverfüllung darf den Wert K nicht überschreiten.

Ein zulässiger (bohrlochunabhängiger) Wert für K wäre abzuleiten.

Mit den Parametern

- an der Bohrung anstehender Druck $P = 5 \text{ MPa}$,
- Länge L der Bohrung = 50 m,
- Querschnittsfläche A der Bohrung (nach Nachbohren auf 200 mm Durchmesser) = $0,0314 \text{ m}^2$,
- Viskosität = $2 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ (entspricht NaCl-gesättigte Lösung) und
- Permeabilität $K = 10^{-15} \text{ m}^2$

ergibt sich ein Lösungsfluss $Q (= A \cdot K / \cdot P/L)$ von ca. $0,05 \text{ m}^3/\text{a}$. Dies entspricht der Hälfte des Werts, der für die Auslegung des Verschlusses des Schachts Bartensleben als Maßstab für die Geringfügigkeit gewählt wurde. Ein zulässiger (bohrlochunabhängiger) Wert für K könnte also in der Größenordnung von 10^{-15} m^2 liegen.

Bei (begründeter) Verwendung weniger konservativer Werte lässt sich ggf. auch ein höherer Wert für die (bohrlochunabhängige) zulässige effektive Permeabilität der Bohrlochverfüllung ableiten. Allerdings ist hierbei zu berücksichtigen, dass es mehrere Bohrungen gibt (s. Tabelle 3-1 und 3-2). Sofern für den zulässigen Lösungsfluss Q ein höherer Wert als $0,1 \text{ m}^3/\text{a}$ in Ansatz gebracht werden soll, wäre dieser aus der LSA abzuleiten.

Gegenwärtig liegen uns zur Permeabilität des korrodierten Verfüllmaterials keine Untersuchungen vor.

Ableitung und Formulierung bohrlochspezifischer Anforderungen bzw. Durchführung einer bohrlochspezifischen Nachweisführung

Die in den vorliegenden Unterlagen enthaltenen Angaben lassen keinen bohrlochunabhängigen Nachweis zu, dass die Forderungen F 1 oder F 2 erfüllt sind. Die wesentlichen Gründe sind:

- Die anfängliche Permeabilität des vorgesehenen Verfüllmaterials liegt mit $2 \cdot 10^{-17} \text{ m}^2$ deutlich über dem Zielwert von 10^{-18} m^2 für die Streckenabdichtungen.
- Es liegen keine Untersuchungen zur Permeabilität der korrodierten Bohrlochverfüllung vor. Auch wenn solche Versuche noch durchgeführt werden, dürfte es kaum möglich sein, aus diesen auf das hydraulische Langzeitverhalten des korrodierten (und durchflossenen) Materials zu schließen.

Weiterhin liegen uns noch keine Nachweise zum Ausschluss von Vorzugsfließwegen in der verfüllten Bohrung und zur chemischen Beständigkeit des Verfüllmaterials vor.

Um vor diesem Hintergrund nicht notwendige Konservativitäten und die damit verbundene Gefahr des Aufstellens kaum oder gar nicht erfüllbarer Anforderungen zu vermeiden, empfehlen wir, die Anforderungen an die Verfüllung der Bohrungen bohrlochspezifisch abzuleiten, d. h. unter Berücksichtigung der tatsächlichen Bohrl Lochdurchmesser (ggf. nach Aufbohrung), Bohrl Lochlängen und der Lage der Bohrungen im Raum.

Bei den Bohrungen im Ostfeld sprechen zusätzlich folgende Gründe für eine bohrlochspezifische Vorgehensweise:

- Es besteht hier die Möglichkeit, dass die Bohrung eine Verbindung zu einer Wasserwegsamkeit im Hauptanhydrit darstellt. In diesem Fall muss das Hauptaugenmerk auf der Abdichtung des Bohrlochabschnitts zwischen der Auffahrung und der Wasserwegsamkeit liegen. Die Anforderung an die Verfüllung dieses Bohrlochabschnitts hängt von seiner Länge ab.
- Die Anzahl der potentiellen Wasserwege über Bohrungen ist hier höher als im Südfeld. Bei einer bohrlochunabhängigen Vorgehensweise müsste das Verhalten der ungünstigsten Bohrung zugrunde gelegt werden, was bei Berücksichtigung der Anzahl der potentiellen Wasserwege über Bohrungen zu einer zusätzlichen Verschärfung der Anforderungen an die einzelne Bohrlochverfüllung führen würde.

Aus diesen Überlegungen leiten wir folgende Empfehlung und folgenden Hinweis ab:

E 6: Für jede Bohrung, deren Verfüllung vorgesehen ist, sind die Anforderungen an die Verfüllung anzugeben und zu begründen.

H 6: Zumindest bei den Bohrungen im Hauptanhydrit sollte mittels eines hydraulischen Tests geprüft werden, ob und wenn ja bei welcher Bohrtiefe eine Anbindung an eine Wegsamkeit besteht.

An die Verfüllung der Bohrungen aufgrund von Kriterium (K3) besteht lediglich die Anforderung nach Vollständigkeit und Volumenbeständigkeit; hydraulische Anforderungen bestehen nicht.

4. ZUSAMMENSTELLUNG DER EMPFEHLUNGEN UND HINWEISE

Identifizierung potentiell relevanter Bohrungen

Im Plan Stilllegung wird ausgeführt, dass in den zu verfüllenden Bohrungen keine Lösungs- oder Gasaustritte mehr existieren. Im Hinblick auf die Überprüfung dieser Aussage kommen wir zu folgendem Hinweis und zu zwei Empfehlungen:

Wir kommen zu folgendem Hinweis und zu zwei Empfehlungen:

H 1: Wir bitten um Übergabe der Legende zum Risswerk des ERAM.

E 1: Es sollte vom BfS dargelegt werden, ob im Rahmen des Aufbohrens, das zwecks qualifizierter Verfüllung der Bohrung RB606 vorgesehen ist, mit Gasaustritten gerechnet werden muss.

E 2: Es sollte vom BfS dargelegt werden, in welchen der in den Tabellen 3-1 und 3-2 des vorliegenden Berichts als potentiell langzeitsicherheitsrelevant identifizierten Bohrungen gegenwärtig Gasaustritte erfolgen.

Die von uns identifizierten potentiell langzeitsicherheitsrelevanten Bohrungen im Bereich sowie im weiteren Umfeld der Abdichtungsstandorte sind in den Tabellen 3-1 und 3-2 aufgeführt. Nur ein Teil dieser Bohrungen soll gemäß [P 145] qualifiziert verfüllt werden. Das Nichtverfüllen dieser Bohrungen kann aufgrund ihrer Länge oder/und Lage berechtigt sein, sollte aber für jede einzelne Bohrung vom BfS begründet werden:

E 3: In den Tabellen 3-1 und 3-2 sind zahlreiche Bohrungen aufgeführt, die mindestens eins der Kriterien (K1), (K2), (K4), (K5) und (K6) erfüllen, die aber bei den gemäß [P 145] qualifiziert zu verfüllenden Bohrungen nicht erwähnt werden. Dies sollte vom BfS für jeden Einzelfall begründet werden.

Im Rahmen der Identifizierung der potentiell langzeitsicherheitsrelevanten Bohrungen, die in den Anhängen 1 und 2 dokumentiert ist, kommen wir zu folgenden Hinweisen und Empfehlungen:

H 1-1: Wir weisen darauf hin, dass die im Sohlenriss der -291 mNN-Sohle enthaltenen Angaben zur Endteufe der Bohrung 12YEQ01/RB435 (ET -283, 9 mNN) nicht mit den Angaben in den liegenden Sohlenrissen übereinstimmen, denen für die Bohrung RB435 eine Endteufe von -320,4 mNN zu entnehmen ist.

E 1-1: Die Angaben zur Endteufe der Bohrung 12YEQ01/RB435 sollten vom BfS geprüft und die Sohlenrisse entsprechend korrigiert werden.

H 1-2: Wir weisen darauf hin, dass die gemäß [P 145] qualifiziert zu verfüllenden Bohrungen RB434, RB435, RB436 und RB437 gemäß Bohrkataster [NN 337] bereits mit Salzmörtel verfüllt sind.

H 1-3: Wir weisen darauf hin, dass die Bohrung RB606 gemäß [P 145] qualifiziert zu verfüllen ist. Nach den Angaben im Bohrkataster [NN 337] wurde sie jedoch bereits zementiert.

- H 2-1: Wir weisen darauf hin, dass sich die Angaben zur Länge der Bohrung UT 1/52 zwischen Sohlenriss der -372 mNN-Sohle (94,6 m) und Bohrkataster ([NN 337], 125 m) deutlich unterscheiden.**
- E 2-1: Die Länge der Bohrung UT 1/52 sollte vom BfS geklärt werden.**
- H 2-2: Nach den Angaben im Bohrkataster [NN 337] wurde mit der Bohrung RB609 ein Kalisalzflöz erbohrt. Dies ist in den Sohlenrissen der Unterlagen [P 44] und [P 47] nicht dargestellt.**
- E 2-2: Vom BfS sollte geklärt werden, ob die Bohrungen RB609 und RB611 ein Kalisalzflöz durchörtern und um welches Kalisalzflöz es sich hierbei handelt.**

Anforderungen an die Abdichtung der untertägigen Bohrungen

In diesem Zwischenbericht gehen wir von der Annahme aus, dass ein Entweichen der Gase aus den Einlagerungsbereichen über Bohrungen nicht zu einer Erhöhung der berechneten Dosiswerte aufgrund von Radionuklidausträgen führen würde. Die Gültigkeit dieser Annahme ist jedoch durch Berechnungen mit einem entsprechend angepassten Modell zu verifizieren. Wir geben an dieser Stelle den Hinweis:

- H 2: Die Annahme, dass ein Entweichen der Gase aus den Einlagerungsbereichen über Bohrungen nicht zu einer Erhöhung der berechneten Dosiswerte aufgrund von Radionuklidausträgen führen kann, sollte im Rahmen der Prüfung der LSA durch Berechnungen mit einem entsprechend erweiterten Modell überprüft werden.**

Die in den Unterlagen [A 281], [P 145], [G 148] und [P 174] formulierten Anforderungen an die Verfüllung der untertägigen Bohrungen weichen voneinander ab. Weiterhin erfüllt das in [P 174] untersuchte Material nicht die in [A 281] gestellten Anforderungen an die Permeabilität, obwohl es der in [A 281] angegebenen Rezeptur entspricht. Wir kommen deshalb zu folgenden Hinweisen und Empfehlungen:

- H 3: In den Unterlagen des BfS werden unterschiedliche Anforderungen an das Verfüllmaterial der Bohrungen gestellt.**
- E 4: Vom BfS sollten die Anforderungen an die Verfüllung der untertägigen Bohrlöcher in den verschiedenen Unterlagen vereinheitlicht werden.**
- H 4: Die im Plan angegebene Rezeptur für das Verfüllmaterial der Bohrungen entspricht der in [P 174] untersuchten Rezeptur mit der höchsten Permeabilität. Dieses Material erfüllt nach [P 174] nicht die im Plan genannten Anforderungen für das Verfüllmaterial der Bohrungen.**
- E 5: Vom BfS sollte der Nachweis erbracht werden, dass das für die Verfüllung der untertägigen Bohrlöcher vorgesehene Material die geforderten Eigenschaften aufweist.**

Unabhängig von diesen Inkonsistenzen in den Angaben der vorliegenden Unterlagen stellen wir fest, dass die pauschal (d. h. bohrlochunabhängig) geforderte anfängliche Permeabilität bzw. die fehlende Berücksichtigung der Korrosionsbeständigkeit nicht ausreichend begründet wird. Wir kommen deshalb zu folgendem Prüfergebnis:

H 5: Die Ableitung bzw. die Begründung der (bohrlochunabhängigen) Anforderungen des BfS an die Verfüllung der Bohrungen ist unvollständig.

Aus Überlegungen zu Möglichkeiten zur Vervollständigung der Begründung leiten wir folgende Empfehlung und folgenden Hinweis ab:

E 6: Für jede Bohrung, deren Verfüllung vorgesehen ist, sind die Anforderungen an die Verfüllung anzugeben und zu begründen.

H 6: Zumindest bei den Bohrungen im Hauptanhydrit sollte mittels eines hydraulischen Tests geprüft werden, ob und wenn ja bei welcher Bohrtiefe eine Anbindung an eine Wegsamkeit besteht.

5. LITERATUR

- [A 281] BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ BfS
Stilllegung ERA Morsleben
Plan zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben
Salzgitter, 15.09.2009
- [A 281 Q] BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ BfS
Stilllegung ERA Morsleben
Quellennachweise für Aussagen im Plan zur Stilllegung des Endlagers für
radioaktive Abfälle Morsleben
Salzgitter, 31.03.2009
- [G 148] KÖSTER, R., KAUFMANN, M. & LASKE, D.
Systembeschreibung und Qualitätssicherungskonzept
Bohrlochverfüllung mit Magnesiabinder
BfS, Salzgitter, 19.07.2002.
- [NN 337] BLANKE
Bohrkataster Morsleben
DBE, Morsleben, 30.05.2002

- [P44] BEHLAU, J. & MINGERZAHN, G. & BORNEMANN, O.
Erarbeitung eines geologischen Lagerstättenmodells
BGR, Hannover, 20.12.2000
- [P 47] BEHLAU, J. & MINGERZAHN, G.
Erarbeitung eines geologischen Lagerstättenmodells
1. Anhang zum Schlussbericht:
Struktureller Bau des Ostsattels im Bereich der Bohrung 12YEQ01RB385
BGR, Hannover, Mai 1998
- [P 145] GLÄß, F. & MOHLFELD, M.
Kriterien für das Verfüllen von Bohrungen
BfS, Salzgitter, 30.07.2002
- [P 174] KRAUKE, W., KLIMPKE, A. & LASKE, D.
Verfüllen untertägiger Bohrungen mit Magnesiabinder
ERCOSPLAN und K-UTEC, Sondershausen, 17.12.1999
- [P 195] MÜLLER-HOPPE, N. & POLSTER, M.
Verfüllung von Strecken mit hohen Anforderungen:
Konzeptplanung und Nachweisführung
DBE, Peine, 28.06.2004
- [P 277] NIEMEYER, M., RESELE, G., WILHELM, St., HOLOCHER, J., POPPEI, J. &
SCHWARZ, R.
Sicherheitsanalyse für das verfüllte und verschlossene Endlager mit dem Programm
PROSA
Colenco, Baden/Schweiz, März 2009
- [P 278] BECKER, D.-A., BUHMANN, D., MÖNIG, J., NOSECK, U., RÜBEL, A. &
SPIEBL, S.
Sicherheitsanalyse für das verfüllte und verschlossene Endlager mit dem
Programmpaket EMOS
GRS, Braunschweig, 27.03.2009