



Konzeptionelles Modell für die Verfüllung der Einlagerungsbereiche

Verfasser: Dr. B. Förster, Dr. G. Marggraf

Stand:	März 2006
Revisionsnummer:	00

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	4
2. Grundlagen.....	4
3. Konzeptmodell für die Einlagerungsbereiche.....	6
3.1 Einlagerungsbereich LAW1A.....	6
3.1.1 Situation im Einlagerungsbereich zu Beginn des Nachweiszeitraumes.....	6
3.1.2 Situation und Verfüllung der Einlagerungskammer.....	6
3.1.3 Situation und Verfüllung der Nebenkammern.....	9
3.1.4 Verfüllung der Auffahrungen zwischen den Kammern.....	10
3.2 Einlagerungsbereich LAW1B.....	11
3.2.1 Situation im Einlagerungsbereich zu Beginn des Nachweiszeitraumes.....	11
3.2.2 Situation und Verfüllung der Einlagerungskammer.....	11
3.2.3 Situation und Verfüllung der Nebenkammern.....	14
3.2.4 Verfüllung der Auffahrungen zwischen den Kammern.....	16
3.3 Einlagerungsbereich LAW2.....	16
3.3.1 Situation im Einlagerungsbereich zu Beginn des Nachweiszeitraumes.....	16
3.3.2 Situation und Verfüllung der Einlagerungskammer 10/750.....	17
3.3.3 Situation und Verfüllung der Einlagerungskammer 8/750.....	20
3.3.4 Situation und Verfüllung der Einlagerungskammer 4/750.....	22
3.3.5 Verfüllung der Nebenkammer 9/750.....	24
3.3.6 Verfüllung der Auffahrungen zwischen den Kammern.....	25
3.4 Einlagerungsbereich LAW3.....	25
3.4.1 Situation im Einlagerungsbereich zu Beginn des Nachweiszeitraumes.....	25
3.4.2 Situation und Verfüllung der Einlagerungskammer 5/750.....	26
3.4.3 Situation und Verfüllung der Einlagerungskammer 6/750.....	28
3.4.4 Situation und Verfüllung der Einlagerungskammer 7/750.....	31
3.4.5 Situation und Verfüllung der Einlagerungskammer 11/750.....	33
3.4.6 Verfüllung der Auffahrungen zwischen den Kammern.....	35
3.5 Einlagerungsbereich LAW4.....	35
3.5.1 Situation im Einlagerungsbereich zu Beginn des Nachweiszeitraumes.....	35
3.5.2 Situation und Verfüllung der Einlagerungskammer 12/750.....	36
3.5.3 Situation und Verfüllung der Einlagerungskammer 2/750.....	40
3.5.4 Situation und Verfüllung der Einlagerungskammer 1/750.....	42
3.5.5 Verfüllung der Auffahrungen zwischen den Kammern.....	44
3.6 Einlagerungsbereich MAW.....	44
3.6.1 Situation im Einlagerungsbereich.....	44
3.6.2 Verfüllung der Einlagerungskammer 8a/511.....	45
3.6.3 Verfüllung des Nahbereiches der Einlagerungskammer 8a/511.....	47

4. Zusammenfassung	49
5. Literaturverzeichnis	51
Anhang A - Verfüllkonzept G	52
Anhang B - Verfüllkonzept MAW	59
Anhang C - Verteilung des Inventars an dosisrelevanten Isotopen	64

Exemplar für BMBF und BMU

1. Einleitung

Die Maßnahmen für die Schließung der Schachanlage Asse II sind durch den Unternehmer im Sinne des Bundesberggesetzes, d.h. von der GSF, verantwortlich zu planen und durchzuführen. Hierbei muss Vorsorge gegen Gefahren, die sich aus den bergbaulichen Tätigkeiten für Leben, Gesundheit und Sachgüter Dritter ergeben, getroffen werden. Insbesondere ist nachzuweisen, dass nach der Schließung eine unzulässige Freisetzung von radioaktiven Stoffen in der Biosphäre ausgeschlossen ist (Langzeitsicherheitsnachweis). Unter Berücksichtigung der Standortverhältnisse und der gesetzlichen Rahmenbedingungen wurde ein Schließungskonzept [1] erarbeitet, das technische Maßnahmen vorsieht, mit denen eine ausreichende Rückhaltung der Schadstoffe realisiert werden kann. Das Nachweiskonzept berücksichtigt die relevanten Eigenschaften und Prozesse im Gesamtsystem des Standorts Asse.

Ein wesentlicher Aspekt für den Langzeitsicherheitsnachweis und die Planung der Schließungsmaßnahmen ist der Zufluss von NaCl- und CaSO₄- gesättigten Lösungen aus dem Deckgebirge an der Südwest-Flanke des Grubengebäudes. Es ist davon auszugehen, dass der Zufluss auch in der Nachbetriebsphase anhält und zum Volllaufen des Grubengebäudes mit Deckgebirgslösungen führen würde. Um umfangreiche Auslaugungen und Umbildungen am aufgeschlossenen Carnallitit sowie daraus resultierende Gefährdungen der Stabilität des Grubengebäudes zu vermeiden, sieht das Schließungskonzept die kontrollierte Einleitung einer MgCl₂-reichen Lösung – dem so genannten Schutzfluid – in den Porenraum des versetzten Grubengebäudes und der aufgelockerten Gebirgsbereiche vor [2].

Die in der Unterlage dargestellte Einbringung von Mg-Depots in die Einlagerungskammern und ihren Nahbereich ist ebenfalls eines der grundlegenden Elemente des Schließungskonzepts, das der günstigen Beeinflussung und langzeitigen Stabilisierung des geochemischen Milieus dient.

Ziel der Unterlage ist, die Situation in den Einlagerungskammern (ELK) und in deren unmittelbarem Nahbereich qualitativ zu beschreiben, die für den Beginn des Betrachtungszeitraumes für den Langzeitsicherheitsnachweis am Standort Asse unterstellt wird. Der Betrachtungszeitraum beginnt mit dem Einleiten des Schutzfluids auf der 725-m-Sohle.

2. Grundlagen

Eine Grundlage des Langzeitsicherheitsnachweises sind die Anfangsbedingungen in den ELK. Diese basieren auf der Beschreibung der derzeitigen Situation in den ELK und deren unmittelbarem Nahbereich [3], des Abfallinventars [4] und der veranschlagten Verfüllmaßnahmen laut Schließungskonzept [1]. Von Bedeutung sind u. a.

- (1) die bereits eingelagerten Abfälle und Versatzstoffe,

- (2) die noch unverfüllten Resthohlräume in den ELK,
- (3) die geplante Verfüllung dieser Resthohlräume,
- (4) die geplanten Maßnahmen in den Auffahrungen im unmittelbaren Nahbereich,
- (5) der veranschlagte Zeitplan für die Umsetzung der technischen Maßnahmen und
- (6) der Beginn des Einleitens von Schutzfluid auf der 725-m-Sohle.

Im Schließungskonzept wird eine vollständige Verfüllung der Resthohlräume in den LAW-ELK mit Mg-Depot verfolgt. In einigen ELK werden keine oder nur geringe Resthohlräume ausgewiesen [3]. In den Fällen wird Mg-Depot in bzw. vor die Auffahrungen im unmittelbaren Nahbereich dieser ELK (Austrittspfade) eingebracht. Der Beeinflussung des geochemischen Milieus in den ELK und der langzeitigen Stabilisierung wird der Vorrang vor einer maximal möglichen Behinderung der Konvergenz gegeben.

Laut Zeitplan des Schließungskonzepts wird mit dem Einleiten von Schutzfluid auf der 725-m-Sohle im Jahr 2009 begonnen [1], [2]. Dieser Zeitpunkt bestimmt auch den Beginn des Langzeitsicherheitsnachweises für den Standort. Die mit dem Begriff initial bezeichneten Volumenangaben in der Unterlage entsprechen dem erwarteten Zustand zu diesem Zeitpunkt.

Im Transportmodell werden ELK und/oder benachbarte Abbaue zu Einlagerungsbereichen (ELB) zusammengefasst (Tab. 1). Es werden fünf ELB mit schwachradioaktiven Abfällen (LAW) ausgewiesen. Einen weiteren ELB bildet ELK 8a auf der 511-m-Sohle, in der MAW-Abfälle eingelagert worden sind. Die ELB werden untereinander und vom übrigen Grubengebäude durch Strömungsbarrieren und Stützversatz auf Sorelbeton-Basis hydraulisch abgetrennt [5].

Tab.1 LAW-Einlagerungsbereiche auf der 750-m- und 725-m-Sohle

	LAW1A	LAW1B	LAW2	LAW3	LAW4
ELK	2/750(Na2)	7/725(Na2)	10/750, 8/750, 4/750	5/750, 6/750, 7/750, 11/750	12/750, 2/750, 1/750
Abbaue	1/750(Na2), 3/750(Na2)	6/725(Na2), 8/725(Na2)	9/750		
nördlich vorge- lagerte Gruben- baue			südliche Richtstrecke nach Westen	südliche Richtstrecke nach Osten	

Dagegen gibt es innerhalb eines ELB zwischen ELK und Abbauen untereinander hoch durchlässige Wegsamkeiten, einerseits durch horizontale Auffahrungen im Sohlen- und im Firstniveau, andererseits durch desintegriertes Wirtsgestein in den Pfeilern und Schweben. Einige der Auffahrungen wurden aus Gründen der Betriebssicherheit mit Bauwerken aus Salzbeton und/oder Bitumenemulsion versehen [3]. Da Salzbeton im Kontakt mit Mg-reicher

Salzlösung nicht langzeitbeständig ist, wird den „alten Kammerverschlüssen“ eine geringere hydraulische Barrierenwirkung als den Strömungsbarrieren zugesprochen.

Alle gestoßenen Erkundungs-, Verfüll- und Einleitbohrungen in ELK bzw. den unmittelbaren Nahbereich werden hochwertig mit Sorelbeton verfüllt.

3. Konzeptmodell für die Einlagerungsbereiche

Die folgenden Ausführungen beschreiben die unterstellte Situation – Konzeptmodell – für den Beginn des Langzeitsicherheitsnachweises in den ELK und deren unmittelbaren Nahbereich. Das Konzept für die LAW-Einlagerungsbereiche wird als „Verfüllkonzept G“ bezeichnet. Das Konzept für den MAW-Einlagerungsbereich ist mit „Verfüllkonzept MAW“ benannt.

Die grundsätzliche technische Umsetzung der veranschlagten Maßnahmen wird durch das technische Verfüllkonzept „GM“ beschrieben [7].

3.1 Einlagerungsbereich LAW1A

3.1.1 Situation im Einlagerungsbereich zu Beginn des Nachweiszeitraumes

ELB LAW1A umfasst die ELK 2/750Na2 (Abb. 1a, fett umrandet) sowie die Nebenkammern 1/750 und 3/750. LAW1A ist auf der 750- und 775-m-Sohle umgeben von Sorelbeton, ausgelegt als Stützversatz (gelb), Widerlager (blau) oder Strömungsbarrieren (grün). Die umfahrende Wendelstrecke wird von 775 m bis 725 m Teufe vollständig mit Sorelbeton verfüllt. Nur der Durchhieb im Firstniveau zum östlich gelegenen Abbau 4/750Na2 sowie der Durchhieb zwischen den Kammern 3/775 und 4/775 (siehe Abb. 1c) werden mit Mg-Depot verfüllt.

Der Durchhieb im Firstniveau zum Abbau 4/750Na2 sowie Wegsamkeiten in der Sohle zur 775-m-Sohle und in der Firste zur 725-m-Sohle werden aufgrund geringer Strömungswiderstände als bevorzugte Austrittspfade aus dem ELB LAW1A angesehen.

3.1.2 Situation und Verfüllung der Einlagerungskammer

Situation

Die ELK wurde 1928 im Steinsalz aufgefahren; am Nord- und Südstoß sind polyhalitische und kieseritische Varietäten aufgeschlossen. Die ELK wird im Osten und im Westen durch 20 m starke Pfeiler begrenzt. Durch die Pfeiler bestehen Durchhiebe zur Nebenkammer 3/750 im Osten und zur Nebenkammer 1/750 im Westen (Abb. 1a). Im Norden ist das Salzgestein bis zur Sattelrichtstrecke etwa 14 m mächtig und bis zur Wendelstrecke etwa 22 m

mächtig; von letzterer gibt es einen Querschlag zur ELK, der mit Sorelbeton (Stützversatz) verfüllt wird. Im Süden ist das Salzgestein bis zur 1. südlichen Richtstrecke nach Westen etwa 30 m mächtig; von dieser gibt es Durchhiebe zur ELK, in die Strömungsbarrieren eingebaut werden.

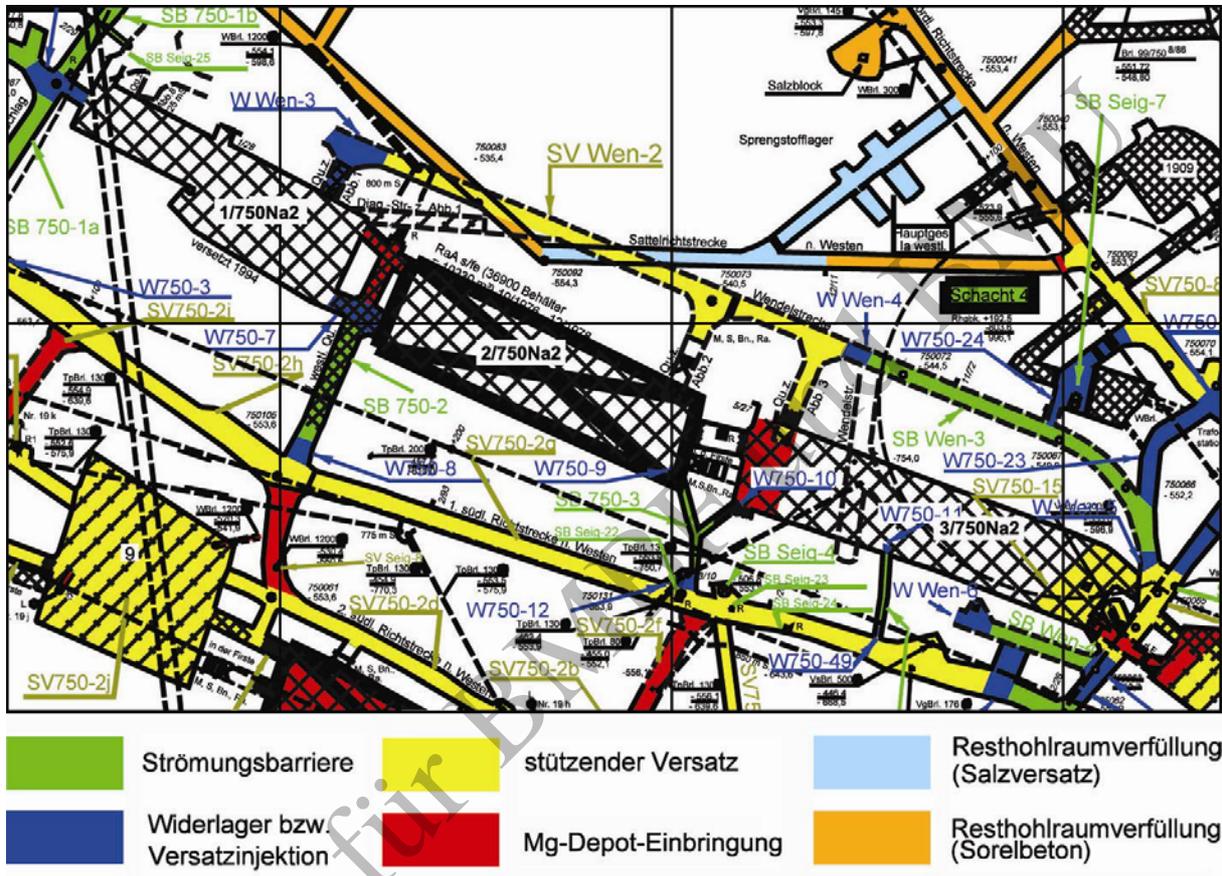


Abb. 1a ELB LAW1A – mit technischen Maßnahmen (Sohlenriss).

Die ELK ist durch drei Rolllöcher und durch eine ca. 8 m starke, aufgelockerte Schwebel mit Abbauen auf der 775-m-Sohle hydraulisch verbunden. Die Rolllöcher sind mit Salzhautwerk verfüllt. Die Mächtigkeit der aufgelockerten Schwebel zur darüber liegenden ELK 7/725 im LAW1B beträgt ca. 6 m (Abb. 1b).

Verfüllung

Die ELK 2/750Na2 ist vollständig mit einer Melange aus Abfallgebänden und verstütztem Salzhautwerk (Eigenversatz) verfüllt. In der ELK werden keine unverfüllten Resthohlräume vermutet [3]. In den Porenraum der ELK (und der Nebenkammern) wird gezielt Schutzfluid, angereichert mit ca. 5 g Brucit pro Liter Schutzfluid, eingeleitet.

Zu Beginn des Betrachtungszeitraumes ist der initiale Porenraum der Abfallmelange und der Auflockerungszonen im Wirtsgestein weitgehend mit Schutzfluid und untergeordnet noch mit Grubenluft gefüllt. Das initiale Lösungsvolumen in der ELK wird durch das Verfüllkonzept G

bestimmt und durch die integrale Porosität der gesamten kompaktierbaren Abfallmelange abgebildet. Der geringere, mit Grubenluft gefüllte Anteil des initialen Porenraumes beträgt etwa ein Fünftel und wird als effektive residuale Gassättigung abgebildet [5].

Signifikant erhöhte Strömungswiderstände in der ELK werden aufgrund der hohen integralen Porosität in der Abfallmelange (etwa 35 %) für unwahrscheinlich erachtet.

Ohne Mg-Depots ist in der ELK 2/750Na2 eine Versauerung des geochemischen Milieus nicht auszuschließen [6]. Um die prognostizierten Rückhalteeffekte im LAW1A abzusichern, wird Mg-Depot in die unmittelbaren Austrittspfade aus der ELK bzw. dem ELB eingebracht (Abb. 1a bis 1b). Das Konzept für die Verfüllung im LAW1A ist daher vor allem auf die Lenkung der aus der ELK austretenden Lösung über Mg-Depot in den Austrittspfaden (vgl. Kap. 3.1.3 und 3.1.4) ausgerichtet.

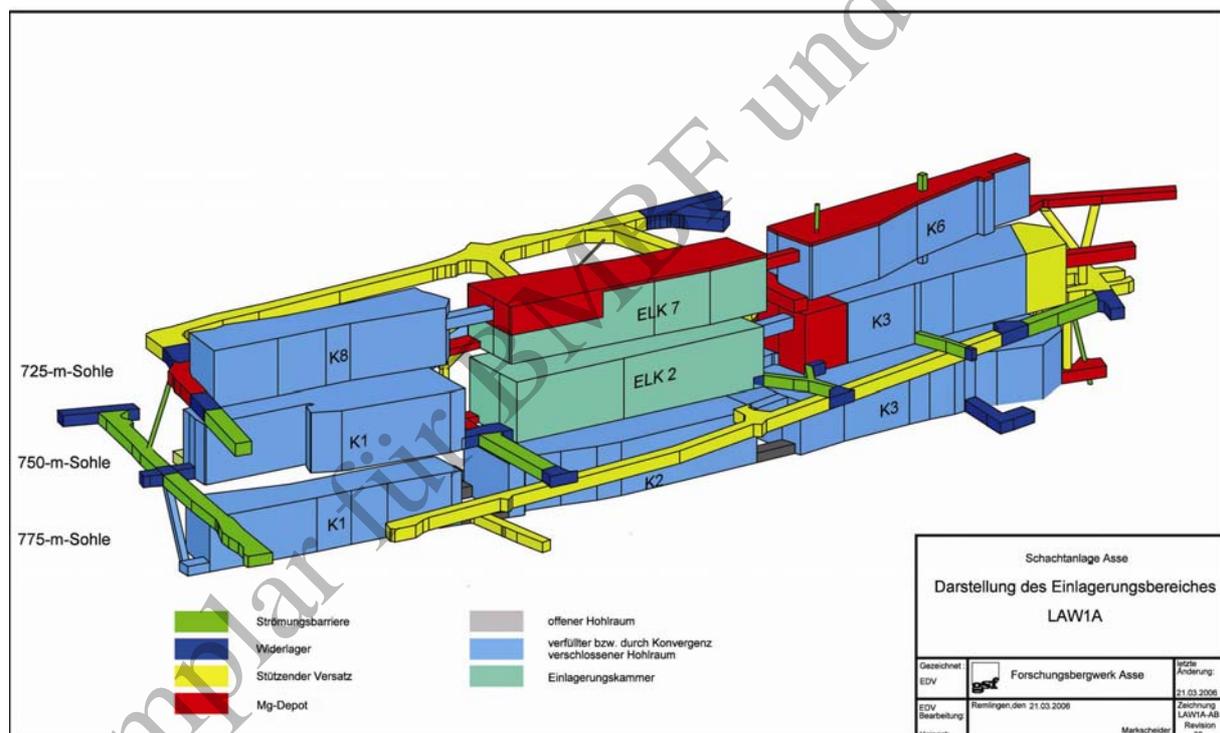


Abb. 1b ELB LAW1A – Verfüllkonzept G.

Die Daten für die Geometrie der Grubenbaue und für die Abfallmelange sind in [3] abgeleitet und beschrieben. Das Verfüllkonzept G für die ELK 2/750Na2 ist im Anhang A dargelegt; die grundsätzliche technische Umsetzung ist in [7] beschrieben.

Inventar

Die 36.900 Abfallgebände wurden mit Hilfe der Abkipptechnik unter Zugabe von Eigenversatz eingelagert (vgl. Abb. 1c) und weisen ein Gebindebruttovolumen von 10.230 m³ auf [3]. Die Melange aus Abfallgebänden und Salzversatz reicht bis an die Firste in 17 m Höhe.

Es gibt keine Abfallgebände mit Verlorenen Betonabschirmungen (VBA). Bei etwa 27 % der Gebindemenge handelt es sich um zementierte bzw. betonierte Gebinde [4]. Die räumliche Verteilung dieser Gebinde in der ELK ist nicht dokumentiert.

Die Verteilung des Inventars an relevanten Radionukliden in Gew. % ist im Anhang C aufgeführt. Die hinsichtlich der Aktivität bestimmenden Isotope eines Elements sind farblich markiert. Wird jedoch nicht die Menge sondern die elementspezifische Aktivität Bq als Kriterium betrachtet, befinden sich 100 % des Plutoniums, etwa 96 % des Americiums, immer noch mehr als 90 % des Urans, aber nur 47 % des eingelagerten Ra-226 in zementierten bzw. betonierten Gebinden.

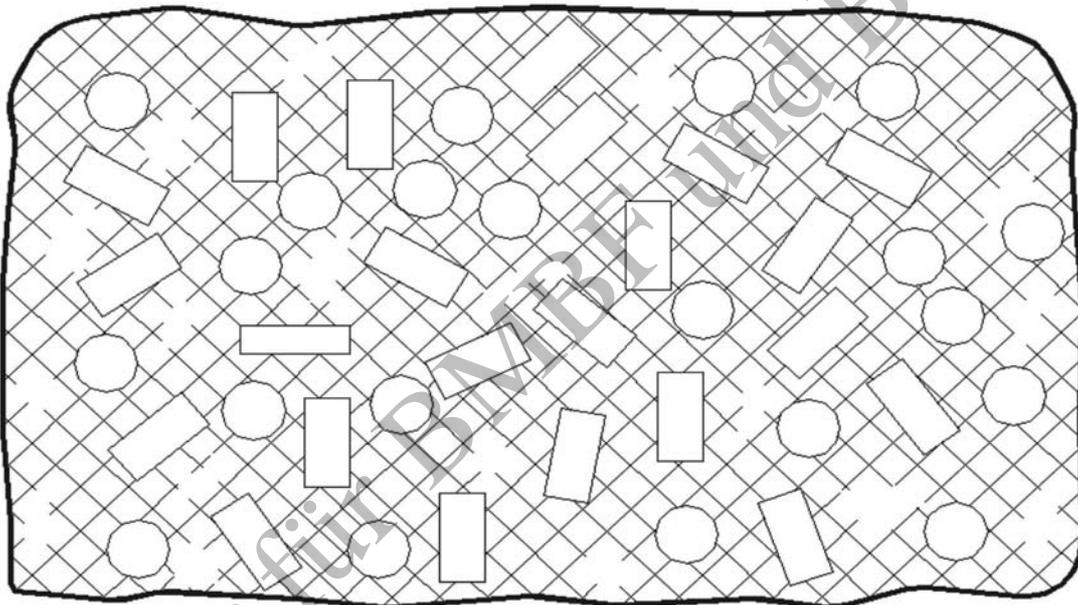


Abb. 1c Schematische Darstellung der Einlagerung in ELK 2/750Na2.

3.1.3 **Situation und Verfüllung der Nebenkammern**

Situation

Die Nebenkammern 1/750Na2 und 3/750Na2 sind vollständig mit Eigenversatz verfüllt (vgl. Abb. 1a). In den Porenraum der Nebenkammern wird gezielt Schutzfluid, angereichert mit ca. 5 g Brucit pro Liter Schutzfluid, eingeleitet.

Jede Nebenkammer ist durch drei Rolllöcher und durch eine ca. 8 m starke, aufgelockerte Schwebe mit den Abbauen auf der 775-m-Sohle hydraulisch verbunden. Die Rolllöcher sind mit Salzhautwerk verfüllt.

Die Mächtigkeit der aufgelockerten Schweben zu den darüber liegenden Nebenkammern im LAW1B beträgt ca. 6 m. Nebenkammer 3/750Na2 ist zudem über ein Rollloch mit dem dar-

über liegenden Abbau auf der 725-m-Sohle (LAW1B) hydraulisch verbunden. Das Rolllloch ist mit Salzhautwerk verfüllt (Abb. 1b).

Verfüllung

Der initiale Porenraum des Versatzes und der Auflockerungszonen im Wirtsgestein ist zu Beginn des Betrachtungszeitraumes weitgehend mit Schutzfluid und untergeordnet mit Grubenluft gefüllt. Das initiale Lösungsvolumen in den Nebenkammern wird durch die integrale Porosität des kompaktierbaren Versatzkörpers abgebildet. Der geringe mit Grubenluft gefüllte Anteil des initialen Porenraumes wird als effektive residuale Gassättigung abgebildet.

Einer der mit Mg-Depot zu verfüllenden Hauptaustrittspfade aus ELK 2/750Na2 führt durch die Nebenkammer 3/750Na2. Deshalb wird in deren westlichen Bereich¹ über die gesamte Abströmfläche des West-Pfeilers Mg-Depot eingebaut (Abb. 1b). Im östlichen Bereich der Nebenkammer wird der Eigenversatz mit Sorelmörtel (Stützender Versatz) injiziert. Erhöhte Strömungswiderstände in den Nebenkammern sind – im Zuge der Nachverfüllung – in dem mit Sorelmörtel injizierten Bereich des Versatzkörpers nicht auszuschließen, sonst jedoch nicht in signifikantem Ausmaß zu erwarten.

Daten für die Geometrie der Grubenbaue und deren Verfüllung mit Eigenversatz sind aus dem Risswerk entnommen. Die grundsätzliche technische Umsetzung der geplanten Nachverfüllung ist in [7] beschrieben.

3.1.4 Verfüllung der Auffahrungen zwischen den Kammern

Die Durchhiebe zwischen der ELK und den Nebenkammern im ELB sind mit Eigenversatz verfüllt und / oder mit einem Verschlussbauwerk versehen [3]. Die westlichen Durchhiebe von der ELK stellen Nebenaustrittspfade dar und werden mit Mg-Depot (rot) bzw. Sorelmörtel (blau) nachinjiziert (Abb. 1a und 1b). Die östlichen Durchhiebe von der ELK werden nicht gezielt nachverfüllt. Die auf den Durchhieben aufsitzenden Y-Rolllöcher zur 725-m-Sohle sind mit Salzversatz verfüllt und werden mit Sorelmörtel (Abb. 1a und 1b, gelb) nachinjiziert.

Der initiale Porenraum des Versatzes und der Auflockerungszonen im Wirtsgestein ist zu Beginn des Betrachtungszeitraumes weitgehend mit Schutzfluid und untergeordnet mit Grubenluft gefüllt. Das initiale Lösungsvolumen in den Auffahrungen wird im Strukturmodell für die Transportmodellierungen im Nahfeld (Grubengebäude + Austrittsstelle zum Deckgebirge) [5] den kompaktierbaren Versatzkörpern in den Nebenkammern zugeschlagen und durch deren integrale Porosität abgebildet. Erhöhte Strömungswiderstände in den Auffahrungen treten nur in den mit Sorelmörtel injizierten Auffahrungen (Durchhieb und Y-Rolllöcher) auf.

Daten für die Geometrie der Auffahrungen und deren bereits vorliegende Verfüllung sind in [3] dargestellt. Die technische Umsetzung der Nachverfüllungen ist in [7] beschrieben.

¹ Als alternative technische Umsetzung wird der Nachschnitt des gesamten östlichen Bereiches des Pfeilers und die Verfüllung der geschaffenen Hohlräume mit Mg-Depot in Betracht gezogen.

3.2 Einlagerungsbereich LAW1B

3.2.1 Situation im Einlagerungsbereich zu Beginn des Nachweiszeitraumes

ELB LAW1B umfasst die ELK 7/725 (fett umrandet) sowie die Nebenkammern 6/725 und 8/725 im Na2 (Abb. 2a). LAW1B ist auf der 700-, 725- und 750-m-Sohle von Sorelbeton umgeben, ausgelegt als Stützversatz (gelb), Widerlager (blau) oder Strömungsbarrieren (grün). Die umfahrende Wendelstrecke wird von 750 m bis 700 m Teufe vollständig mit Sorelbeton verfüllt. Nur der mit Mg-Depot verfüllte östliche Durchhieb im Firstniveau vom LAW1A auf der 750-m-Sohle bildet eine Ausnahme (siehe Kap. 3.1.1).

Das Gesenk in der Firste von Nebenkammer 6/725Na2 (SB Seig-5), einschließlich des aufgelockerten Gebirgsbereiches in der Firste, sowie Wegsamkeiten in der Sohle zur 750-m-Sohle werden aufgrund der geringeren Strömungswiderstände als bevorzugte Austrittspfade aus dem ELB LAW1B angesehen.

3.2.2 Situation und Verfüllung der Einlagerungskammer

Situation

Die ELK wurde 1936 im Steinsalz aufgefahren; am Nord- und Südstoß sind polyhalitische Varietäten aufgeschlossen. Die ELK wird im Osten und Westen durch 13 bis 15 m starke Pfeiler begrenzt. Durch die Pfeiler bestehen Durchhiebe zur Nebenkammer 8/725 im Osten und zur Nebenkammer 6/725 im Westen (Abb. 2a). Im Norden ist das Salzgestein bis zur Wendelstrecke im Mittel etwa 22 m mächtig. Von dieser gibt es zwei Querschläge, die mit Sorelbeton (Abb. 2a, Stützversatz, gelb) verfüllt werden. Im Süden ist das Salzgestein bis zu den Abbauen in der Südflanke mindestens 60 m mächtig. Von diesen gibt es einen Durchhieb zur ELK, in den Mg-Depot (Abb. 2a, rot) und Sorelbeton (Abb. 2a, Widerlager, blau und Strömungsbarriere, grün) eingebaut werden.

Die Mächtigkeit der aufgelockerten Schweben zur darunter liegenden ELK 2/750Na2 im LAW1A beträgt etwa 6 m (Abb. 2b).

Verfüllung

Die ELK 7/725Na2 ist mit einer Melange aus Abfallgebinden und verstürztem Salzhauwerk teilweise verfüllt (vgl. Abb. 2c). Von den unverfüllten Resthohlräumen wurden 8.400 m³ mit Eigenversatz aufgefüllt; 1.850 m³ werden als noch unverfüllt ausgewiesen [3]. Diese werden vollständig mit Mg-Depot verfüllt; als integrale Porosität des verfüllten Resthohlraumes wird $47 \pm 5 \%$ angenommen. In den Porenraum der ELK wird gezielt Schutzfluid, angereichert mit ca. 5 g Brucit pro Liter Schutzfluid, eingeleitet.

Zu Beginn des Betrachtungszeitraumes ist der Porenraum in der Abfallmelange, im Eigenversatz, im Mg-Depot und in den Auflockerungszonen im Salzgestein noch weitgehend mit Grubenluft sowie untergeordnet mit Lösung (residuale Lösungssättigung) erfüllt. Im Modell

Das Konzept für die Verfüllung des LAW1B ist auf die langzeitige geochemische Stabilisierung in der ELK und auch auf die Lenkung der aus dem ELB austretenden Lösung über Mg-Depot in Austrittspfaden (vgl. Kap. 3.2.3 und 3.2.4) ausgerichtet.

Die Daten für die Geometrie der Grubenbaue sowie für die Abfallmelange und den bereits nachverfüllten Eigenversatz sind in [3] abgeleitet und beschrieben. Das Verfüllkonzept G für die ELK 7/725 ist im Anhang A aufgelistet, die grundsätzliche technische Umsetzung ist in [7] beschrieben.

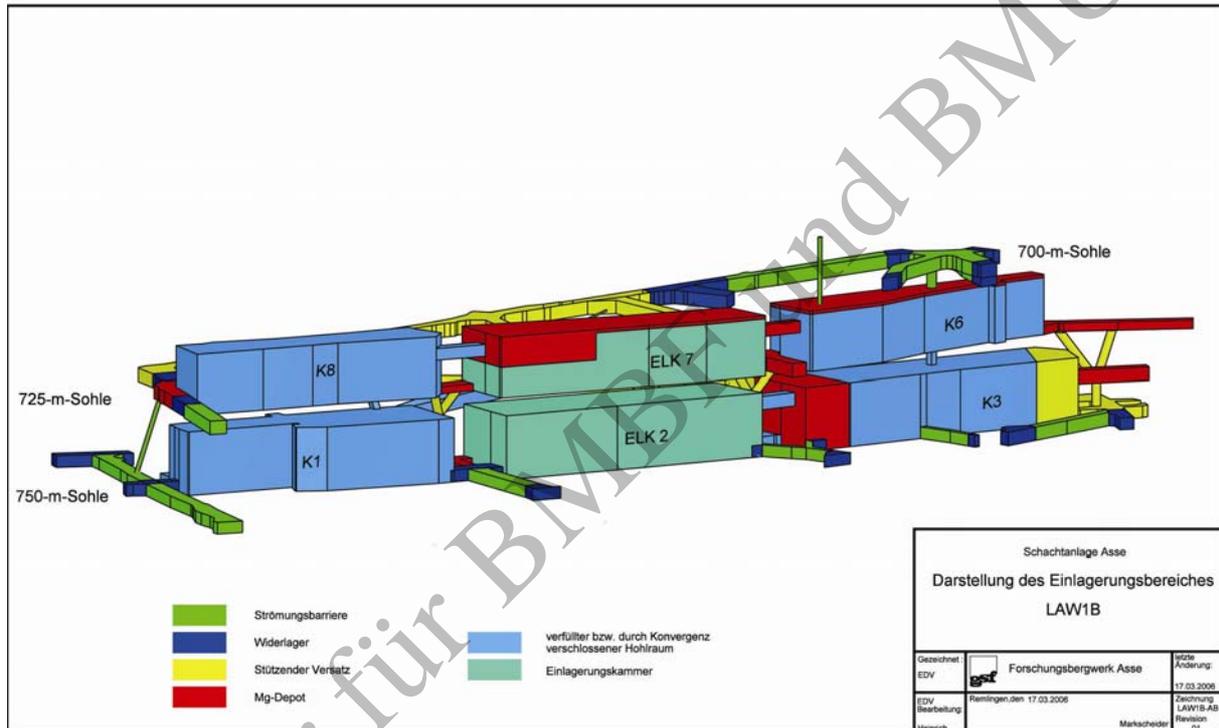


Abb. 2b ELB LAW1B – Verfüllkonzept G.

Inventar

Die 8.530 Abfallgebände wurden mit Hilfe der Abkipptechnik unter Zugabe von Eigenversatz eingelagert (vgl. Abb. 2c) und weisen ein Gebindebruttovolumen von 2.251 m³ auf [3]. Die Abfallmelange reicht nicht bis an die Firste in 17 m Höhe. Es liegen noch unverfüllte Resthohlräume, vor allem im Firstbereich, vor.

Es gibt keine Abfallgebände mit Verlorenen Betonabschirmungen (VBA). Bei etwa 27 % der Gebindemenge handelt es sich um zementierte bzw. betonierte Gebinde [4]. Die räumliche Verteilung dieser Gebinde in der ELK ist nicht dokumentiert.

Die Verteilung des Inventars an relevanten Radionukliden in Gew. % ist im Anhang C aufgeführt. Die hinsichtlich der Aktivität [Bq] bestimmenden Isotope eines Elements sind farblich markiert. Unter Berücksichtigung beider Kriterien, befinden sich mehr als 99 % des Plutoni-

ums, 100 % des Americiums, mehr als 97 % des Urans, aber nur 27 % des eingelagerten Ra-226 in zementierten bzw. betonierten Gebinden.

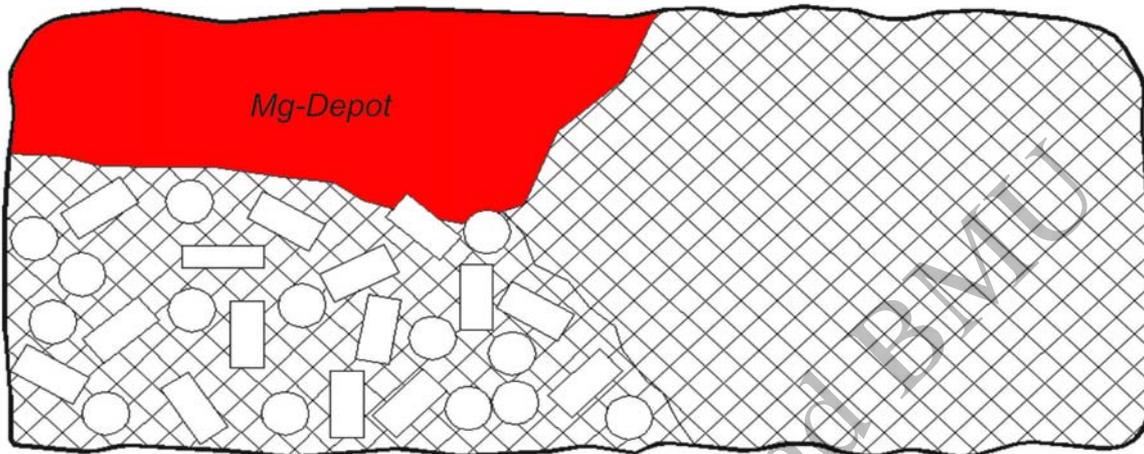


Abb. 2c Schematische Darstellung der Einlagerung und Nachverfüllung in ELK 7/725.

3.2.3 Situation und Verfüllung der Nebenkammern

Situation

Die Nebenkammer 8/725 ist vollständig, die Nebenkammer 6/725 zum Teil mit Eigenversatz verfüllt. Der Resthohlraum in der Nebenkammer 6/725 wird mit Mg-Depot nachverfüllt (Abb. 2a). In den Porenraum der Nebenkammern wird gezielt Schutzfluid, angereichert mit ca. 5 g Brucit pro Liter Schutzfluid, eingeleitet.

In das von der Nebenkammer 6/725 zur 700-m-Sohle führende Gesenk wird eine Strömungsbarriere (Abb. 2b, grün) eingebaut; die Mächtigkeit des Salzgesteins beträgt dort nur ca. 4 m. Deshalb wird angenommen, dass das Salzgestein zwischen Nebenkammer 6/725 und der 700-m-Sohle durchlässig ist. Trotz vollständiger Verfüllung der Strecken auf der 700-m-Sohle oberhalb Nebenkammer 6/725 mit Sorelbeton (siehe Abb. 2b) wird unterstellt, dass es Wegsamkeiten über aufgelockerte Gebirgsbereiche und Auffahrungen gibt, die in Kombination zwischen der Nebenkammer 6/725 und dem Baufeld in der Südflanke auf der 700-m-Sohle hydraulisch wirksam sind.

Die Mächtigkeit der aufgelockerten Schweben zu den darunter liegenden Nebenkammern im LAW1A beträgt etwa 6 m (Abb. 2b).

Verfüllung

Zu Beginn des Betrachtungszeitraumes ist der Porenraum im Eigenversatz, im Mg-Depot und in den Auflockerungszonen im Salzgestein weitgehend mit Grubenluft sowie untergeordnet mit Lösung erfüllt. Im Modell wird die gezielte Einleitung des Schutzfluids im LAW1B nicht abgebildet, der Lösungspegel steigt auf der gesamten Sohle mit kontinuierlicher Rate

[5]. Nach Auffüllung des Porenraumes – etwa ein Jahr später – ist der Porenraum in den Nebenkammern weitgehend mit Schutzfluid und nur untergeordnet mit Grubenluft gefüllt. Das Lösungsvolumen wird durch eine integrale Porosität des gesamten kompaktierbaren Versatzkörpers abgebildet. Der mit Grubenluft gefüllte Anteil des Porenraumes wird als effektive residuale Gassättigung abgebildet [5].

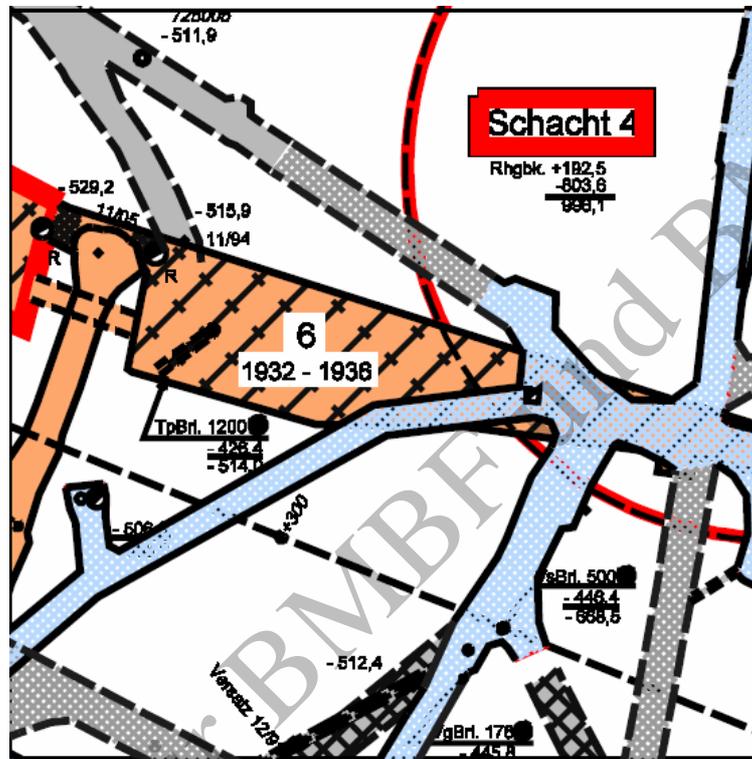


Abb. 2d Lage der Grubenbaue auf der 725- (braun) und 700-m-Sohle (blau) im Bereich der Nebenkammer 6/725Na2.

Einer der mit Mg-Depot zu verfüllenden Austrittspfade aus ELK 2/750Na2 (LAW1A) führt durch die Nebenkammer 6/725 und die aufgelockerten Gebirgsbereiche in der Firste der Kammer (siehe Abb. 2d) zur 700-m-Sohle. Daher wird über die gesamte Abströmfläche im Firstbereich Mg-Depot eingebaut (Abb. 2a und 2b), wobei eine 1.5 m mächtige Schicht² die notwendige Menge Mg-Depot enthält.

Signifikant erhöhte Strömungswiderstände in den Nebenkammern sind – auch im Zuge der Nachverfüllung – nicht zu erwarten.

Daten für die Geometrie der Grubenbaue und deren Verfüllung mit Eigenversatz sind aus dem Risswerk entnommen. Die grundsätzliche technische Umsetzung der geplanten Nachverfüllung ist in [7] beschrieben.

² Im Zuge der technischen Umsetzung kann die Schicht Mg-Depot eine größere Mächtigkeit als 1.5 m aufweisen [7].

3.2.4 Verfüllung der Auffahrungen zwischen den Kammern

Die Durchhiebe zwischen der ELK und den Nebenkammern im ELB sind mit Eigenversatz teilverfüllt [3]. Die Durchhiebe nach Osten zur Nebenkammer 6/725 stellen potenzielle Austrittspfade dar und werden mit Mg-Depot nachverfüllt (Abb. 2a und 2b).

Der Porenraum des Versatzes und der Auflockerungszonen im Wirtsgestein ist nach dem Einleiten des Schutzfluids weitgehend mit diesem und untergeordnet mit Grubenluft gefüllt. Das Lösungsvolumen in den Auffahrungen wird im Strukturmodell für die Transportmodellierungen im Nahfeld (Grubengebäude + Austrittsstelle zum Deckgebirge) [5] den kompaktierbaren Versatzkörpern in den Nebenkammern zugeschlagen und durch deren integrale Porosität abgebildet.

Daten für die Geometrie der Auffahrungen und deren bereits vorliegende Verfüllung sind in [3] dargestellt. Die grundsätzliche technische Umsetzung der geplanten Nachverfüllungen ist in [7] beschrieben.

3.3 Einlagerungsbereich LAW2

Das Konzept für die Verfüllung vom ELB LAW2 ist sowohl auf eine langzeitige chemische Stabilisierung des Milieus in den ELK als auch auf die Lenkung der austretenden Lösungen über Mg-Depot ausgerichtet.

3.3.1 Situation im Einlagerungsbereich zu Beginn des Nachweiszeitraumes

ELB LAW2 umfasst die ELK 10/750, 8/750 und 4/750 sowie Nebenkammer 9/750 und die südliche Richtstrecke nach Westen (Abb. 3a). LAW2 ist auf der 750-m-Sohle umgeben von Sorelbeton, ausgelegt als Stützversatz (gelb), Widerlager (blau) oder Strömungsbarrieren (grün). Die südlichen Richtstrecke nach Westen und die von hier ausgehenden Rolllöcher zur 725-m-Sohle werden vollständig mit Sorelbeton verfüllt.

Aufgelockerte Gebirgsbereiche in der Firste der Kammern und die Rolllöcher in der Firste von Abbau 9/750 zur 725-m-Sohle werden aufgrund der geringeren Strömungswiderstände als bevorzugte Austrittspfade aus dem ELB LAW2 angesehen.

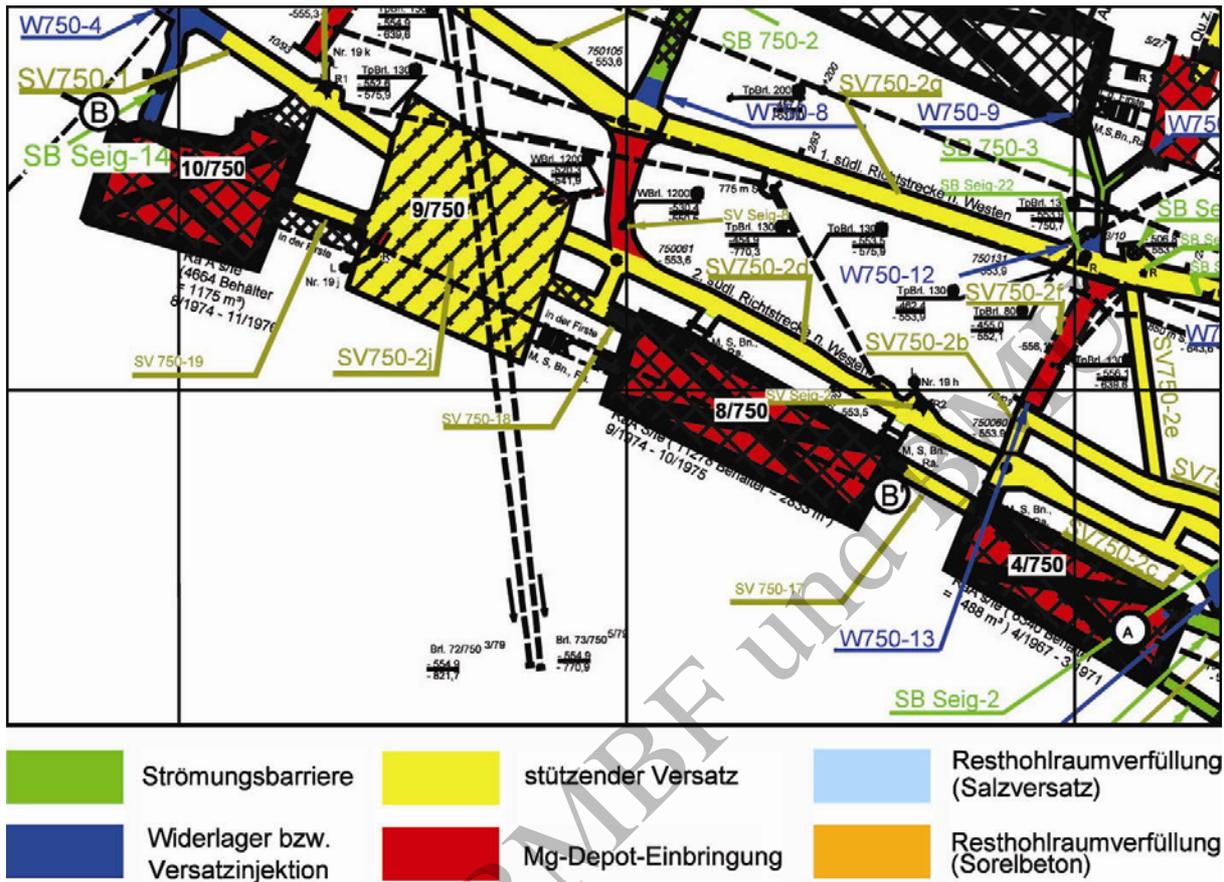


Abb. 3a ELB LAW2 – mit technischen Maßnahmen (Sohlenriss).

3.3.2 Situation und Verfüllung der Einlagerungskammer 10/750

Situation

Die ELK wurde 1923 im Steinsalz aufgefahren und wird im Osten durch einen 20 m starken Pfeiler und im Norden durch einen 10 bis 20 m starken Pfeiler begrenzt (Abb. 3a und 3b). Durch die Pfeiler bestehen je zwei Durchhiebe

- zum Abbau 9/750 im Osten, mit Eigenversatz oder mit Sorelmörtel nachinjiziert (Stützversatz)
- zur 2. südlichen Richtstrecke nach Westen im Norden, mit Eigenversatz verfüllt oder mit Sorelmörtel nachinjiziert (Widerlager).

Die ELK ist durch eine im Mittel 14 m starke, aufgelockerte Schweben von der 725-m-Sohle abgegrenzt (Abb. 3b). Das Salzgestein bis zur 775-m-Sohle wird als hydraulisch dicht unterstellt.

Verfüllung

Die ELK 10/750 ist mit einer Melange aus Abfallgebinden und verstürztem Salzhaufwerk teilweise verfüllt (Abb. 3c). Die unverfüllten Resthohlräume unter der Firste von 2.550 m³ wurden bereits mit Eigenversatz vollständig aufgefüllt [3]. In den Porenraum der ELK wird Schutzfluid mit einer größeren Menge Brucit als Suspension [7] eingeleitet, wodurch sich das Mg-Depot vor allem im Firstbereich befindet (Abb. 3b).

Zu Beginn des Betrachtungszeitraumes ist der initiale Porenraum in der Abfallmelange, im Eigenversatz und in den Auflockerungszonen des Wirtsgesteins weitgehend mit Schutzfluid bzw. Suspension sowie untergeordnet mit Grubenluft gefüllt. Das initiale Lösungsvolumen in der ELK wird durch das Verfüllkonzept G bestimmt und durch eine integrale Porosität der gesamten kompaktierbaren Melange aus den Kammerinhaltsstoffen abgebildet. Der geringe, mit Grubenluft gefüllte Anteil des initialen Porenraumes beträgt etwa ein Fünftel (19 %) und wird als effektive residuale Gassättigung abgebildet [5].

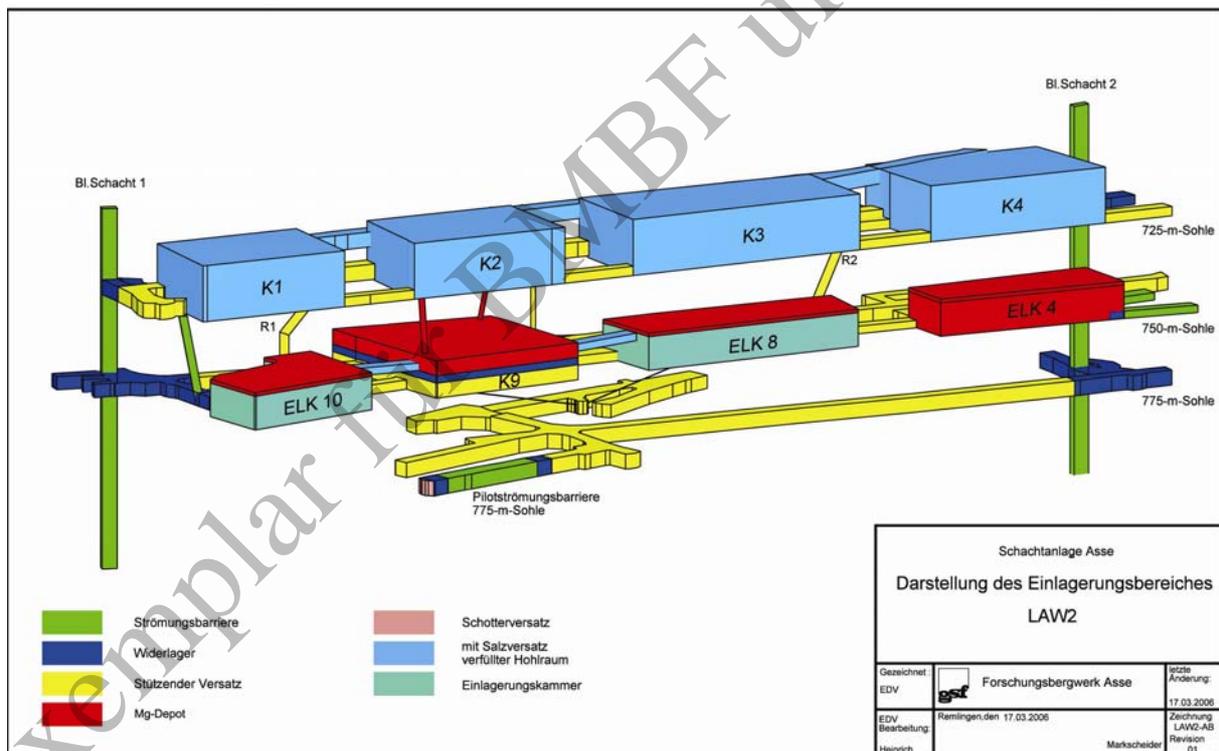


Abb. 3b ELB LAW2 – Verfüllkonzept G.

Die anfänglich im Porenraum des im Firstspalt verfüllten Mg-Depots gespeicherte Lösung, welche sich im Gleichgewicht mit dem Mg-Depot befindet, wird durch die zum Firstbereich hin ausgerichtete Lösungsbewegung in der ELK (siehe [5]) rasch aus dem Porenraum im Mg-Depot in die aufgelockerte Schwebel bzw. zum Abbau 9/750 hin verdrängt.

Signifikant erhöhte Strömungswiderstände in der ELK werden aufgrund der hohen integralen Porosität in der Abfallmelange (etwa 46 %) für wenig wahrscheinlich erachtet. Auch durch

die Auffüllung des Firstspalts mit dem Mg-Depot wird sich der Strömungswiderstand für die gesamte vertikale Abströmfläche nicht signifikant erhöhen, da die Verfüllung triaxial nicht eingespannt ist und infolge der gebirgsmechanischen Beanspruchungen zerschert.

Ohne Mg-Depots ist in der ELK 10/750 eine Versauerung des geochemischen Milieus nicht auszuschließen [6]. Um die prognostizierten Rückhalteeffekte in der ELK abzusichern, wird sowohl Brucit als Suspension im Schutzfluid in die ELK eingebracht, um das Milieu zu beeinflussen, als auch ein großer Teil der austretenden Lösung über Mg-Depot im Abbau 9/750 (Abb. 3b) gelenkt. Das Konzept für die Verfüllung ist sowohl auf eine langzeitige chemische Stabilisierung des Milieus in der ELK als auch auf die Lenkung der austretenden Lösung über Mg-Depot im Abbau 9/750 (siehe Kap. 3.3.5) ausgerichtet.

Die Daten für die Geometrie der Grubenbaue sowie für die Abfallmelange und den bereits nachverfüllten Eigenversatz sind in [3] abgeleitet und beschrieben. Das Verfüllkonzept G für ELK 10/750 ist im Anhang A aufgelistet, die grundsätzliche technische Umsetzung ist in [7] beschrieben.

Inventar

Die 4.684 Abfallgebände wurden mit Hilfe der Abkipptechnik unter Zugabe von Eigenversatz eingelagert und weisen ein Gebindebruttovolumen von 1.175 m³ auf [3]. Die Melange aus Abfallgebänden und Salzhautwerk reichte nicht bis an die Firste in 11,5 m Höhe. Nach der Einlagerung lag ein unverfüllter Resthohlraum mit einer lichten Höhe von 4,2 m vor, der mit Eigenversatz verfüllt wurde. Bei der Einleitung vom Schutzfluid bzw. Suspension wird sich durch die Sackung des Eigenversatzes ein Firstspalt öffnen, in den dann Mg-Depot eindringt (Abb. 3c).

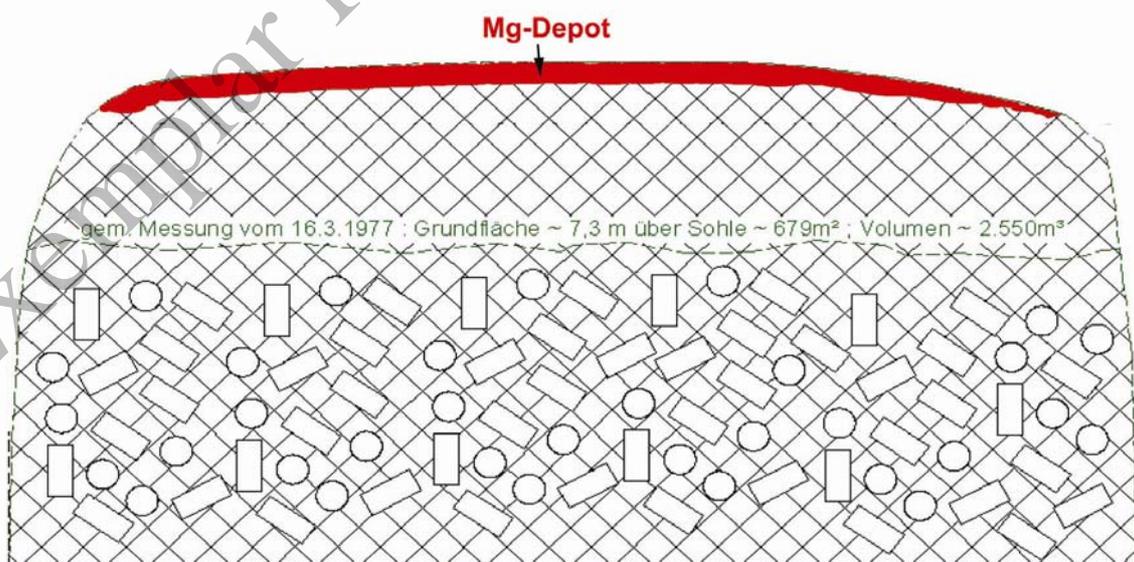


Abb. 3c Schematische Darstellung der Einlagerung und Nachverfüllung in ELK 10/750.

Nur acht der eingelagerten Abfallgebände sind mit Verlorenen Betonabschirmungen (VBA) ummantelt. Bei etwa 41 % der Gebindemenge handelt es sich um zementierte bzw. betonierete Gebände [4]. Die räumliche Verteilung dieser Gebände in der ELK ist nicht dokumentiert.

Die Verteilung des Inventars an relevanten Radionukliden in Gew. % ist im Anhang C aufgeführt. Die hinsichtlich der Aktivität bestimmenden Isotope eines Elements sind farblich markiert. Wird jedoch nicht die Menge sondern die elementspezifische Aktivität [Bq] als Kriterium betrachtet, befinden sich 100 % des Plutoniums, mehr als 69 % des Americiums, mehr als 85 % des Urans, aber nur 17 % des eingelagerten Ra-226 in zementierten bzw. betonierten Gebäuden.

3.3.3 Situation und Verfüllung der Einlagerungskammer 8/750

Situation

Die ELK wurde 1921 im Steinsalz aufgefahren. Sie wird im Westen und Osten durch einen 20 m starken Pfeiler sowie im Norden durch einen 7 bis 8 m starken Pfeiler begrenzt (Abb. 3a). Durch diese Pfeiler bestehen Durchhiebe

- zum Abbau 9/750 im Westen, mit altem Kammerverschluss und Eigenversatz oder mit Sorelmörtel nachinjiziert (Stützversatz),
- zur ELK 4/750 im Osten, mit Sorelbeton (Stützversatz),
- zur 2. südlichen Richtstrecke nach Westen im Norden, mit alten Kammerverschlüssen.

Die ELK ist durch eine etwa 14 m starke, aufgelockerte Schwebel von der 725-m-Sohle abgegrenzt (Abb. 3b). Das Salzgestein bis zur 775-m-Sohle wird als hydraulisch dicht unterstellt.

Verfüllung

ELK 8/750 ist mit einer Melange aus Abfallgebänden und verstärktem Salzhautwerk verfüllt (Abb. 3d). Es werden keine unverfüllten Resthohlräume vermutet [3]. In den Porenraum der ELK wird Schutzfluid mit einer größeren Menge Brucit als Suspension [7] eingeleitet, wodurch sich Mg-Depot vor allem im Firstbereich befindet (Abb. 3b).

Zu Beginn des Betrachtungszeitraumes ist der initiale Porenraum in der Abfallmelange und in den Auflockerungszonen des Wirtsgesteins weitgehend mit Schutzfluid bzw. Suspension sowie untergeordnet mit Grubenluft gefüllt. Das initiale Lösungsvolumen in der ELK wird durch das Verfüllkonzept G bestimmt und durch eine integrale Porosität der kompaktierbaren Abfallmelange abgebildet. Der mit Grubenluft gefüllte Anteil des initialen Porenraumes beträgt etwa ein Fünftel (19 %) und wird als effektive residuale Gassättigung abgebildet [5].

Die anfänglich im Porenraum des im Firstspalt verfüllten Mg-Depots gespeicherte Lösung, welche sich im Gleichgewicht mit dem Mg-Depot befindet, wird durch die zum Firstbereich

hin ausgerichtete Lösungsbewegung in der ELK (siehe [5]) rasch aus dem Porenraum im Mg-Depot in die aufgelockerte Schwebelage bzw. zum Abbau 9/750 hin verdrängt.

Signifikant erhöhte Strömungswiderstände in der ELK werden aufgrund der hohen integralen Porosität in der Abfallmelange (etwa 42 %) für wenig wahrscheinlich erachtet. Auch durch die Auffüllung des Firstspalts mit dem Mg-Depot wird sich der Strömungswiderstand für die gesamte vertikale Abströmfläche nicht signifikant erhöhen, da die Verfüllung triaxial nicht eingespannt ist und infolge der gebirgsmechanischen Beanspruchungen zerschert.

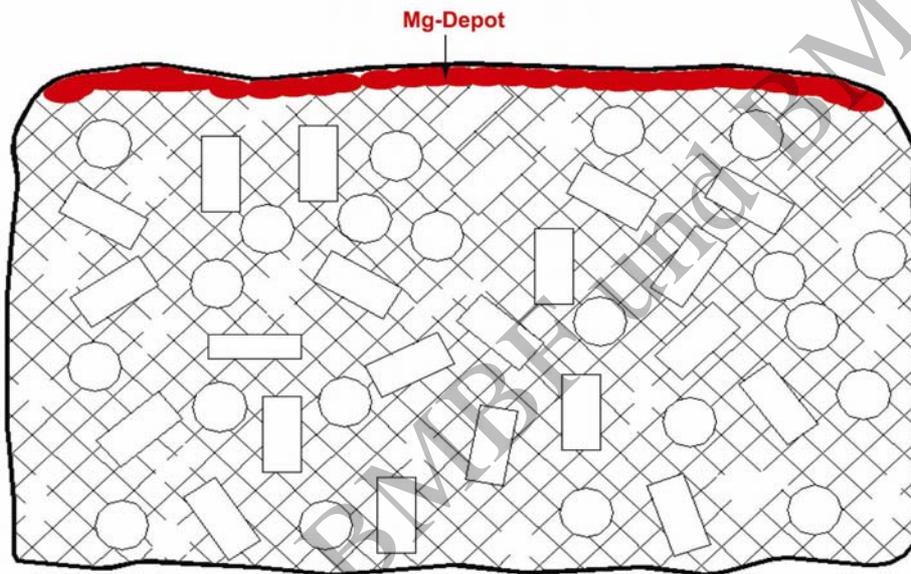


Abb. 3d Schematische Darstellung der Einlagerung und Nachverfüllung in ELK 8/750.

Ohne Mg-Depots ist in der ELK 8/750 eine Versauerung des geochemischen Milieus nicht auszuschließen [6]. Um die prognostizierten Rückhalteeffekte in der ELK abzusichern, wird sowohl Mg-Depot als Suspension im Schutzfluid in die ELK eingebracht, um das Milieu zu beeinflussen, als auch ein großer Teil der austretenden Lösung über Mg-Depot im Abbau 9/750 (Abb. 3b) gelenkt.

Die Daten für die Geometrie der Grubenbaue und für die Abfallmelange sind in [3] abgeleitet und beschrieben. Das Verfüllkonzept G für die ELK 8/750 ist im Anhang A aufgelistet, die grundsätzliche technische Umsetzung ist in [7] beschrieben.

Inventar

Die 11.278 Abfallgebände wurden mit Hilfe der Abkipptechnik unter Zugabe von Eigenversatz eingelagert und weisen ein Gebindebruttovolumen von 2.833 m³ auf [3]. Die Melange aus Abfallgebänden und Salzhautwerk reicht vermutlich bis an die Firste in 9 m Höhe. Bei der Einleitung von Schutzfluid bzw. Suspension wird sich durch Sackung der Abfallmelange ein Firstspalt öffnen, in den Mg-Depot eindringt (Abb. 3d).

Es gibt keine Abfallgebände mit Verlorenen Betonabschirmungen (VBA). Bei etwa 41 % der Gebäudemenge handelt es sich um zementierte bzw. betonierete Gebäude [4]. Die räumliche Verteilung dieser Gebäude in der ELK ist nicht dokumentiert.

Die Verteilung des Inventars an relevanten Radionukliden in Gew. % ist im Anhang C aufgeführt. Die hinsichtlich der Aktivität [Bq] bestimmenden Isotope eines Elements sind farblich markiert. Unter Berücksichtigung beider Kriterien befinden sich 100 % des Plutoniums, mehr als 99 % des Americiums, aber nur etwa 27 % des Urans in zementierten bzw. betonierten Gebäuden. Das eingelagerte Ra-226 befindet sich dagegen nicht in zementierten Gebäuden.

3.3.4 Situation und Verfüllung der Einlagerungskammer 4/750

Situation

Die ELK wurde 1919 im Steinsalz aufgefahren. Sie wird im Westen und Osten durch einen 20 m starken Pfeiler sowie im Norden durch einen 7 bis 8 m starken Pfeiler begrenzt (Abb. 3a). Durch diese Pfeiler bestehen Durchhiebe

- zur ELK 8/750 im Westen, mit Sorelbeton (Stützversatz),
- zum Abbau 3/750 im Osten, mit Strömungsbarrieren und
- zur 2. südlichen Richtstrecke nach Westen im Norden, mit Sorelbeton (Stützversatz).

Die ELK ist durch eine in etwa 14 m starke, aufgelockerte Schwebelage von der 725-m-Sohle abgegrenzt (Abb. 3b). Das Salzgestein bis zur 775-m-Sohle wird als hydraulisch dicht unterstellt.

Verfüllung

ELK 4/750 ist mit auf einer Schicht aus Salzhautwerk gestapelten Abfallgebänden teilweise verfüllt (vgl. Abb. 3e). In der Regel wurden vier Fässer senkrecht stehend übereinander gestapelt. Es gibt „Durchgänge“ zwischen den Fassreihen, die unverfüllt sind, und die Stapel erreichen auch die Firste nicht. In der ELK liegen daher unverfüllte Resthohlräume von etwa 2'800 m³ in „Durchgängen“ und im Firstbereich vor [3]. Diese werden mit Mg-Depot verfüllt (Abb. 3b und 3e). Als integrale Porosität des verfüllten Resthohlraumes wird 47 ± 5 % angenommen. In den Porenraum der ELK wird gezielt Schutzfluid, angereichert mit ca. 5 g Brucit pro Liter Schutzfluid, eingeleitet.

Zu Beginn des Betrachtungszeitraumes ist der initiale Porenraum im Abfallstapel, im Mg-Depot und in den Auflockerungszonen des Wirtsgesteins weitgehend mit Schutzfluid sowie untergeordnet mit Grubenluft gefüllt. Das initiale Lösungsvolumen in der ELK wird durch das Verfüllkonzept G bestimmt und durch eine integrale Porosität des gesamten kompaktierbaren Versatzkörpers, bestehend aus Salzhautwerk, Mg-Depot und Abfallgebänden, abgebildet. Der mit Grubenluft gefüllte Anteil des initialen Porenraumes beträgt etwa ein Viertel (26%) und wird als effektive residuale Gassättigung abgebildet [5].

Signifikant erhöhte Strömungswiderstände in der ELK werden aufgrund der Durchlässigkeit des Mg-Depots (Brucit-Granulat) für wenig wahrscheinlich erachtet [8]. Durch Umsetzung von Brucit zu Sorelphasen können sich lokal erhöhte Strömungswiderstände im Versatzkörper ausbilden. Diese lokalen Bereiche sind jedoch nicht eingespannt und werden durch gebirgsmechanische Beanspruchung überprägt.

Auch ohne eine Resthohlraumverfüllung mit Mg-Depot ist in ELK 4/750 eine Versauerung des geochemischen Milieus auszuschließen [6]. Um die prognostizierten Rückhalteeffekte in der ELK bei einem erhöhten Zustrom von Lösung aus der ELK 8/750 abzusichern, wird Mg-Depot in die Resthohlräume der ELK eingebracht (Abb. 3b und Abb. 3e).

Die Daten für die Geometrie der Grubenbaue und das Abfallvolumen sind in [3] abgeleitet und beschrieben. Das Verfüllkonzept G für die ELK 4/750 ist im Anhang A aufgelistet, die grundsätzliche technische Umsetzung ist in [7] beschrieben.

Inventar

Die 6.340 Abfallgebände wurden in gestapelten Fassreihen eingelagert und weisen ein Gebindebruttovolumen von 488 m³ auf [3]. Die Gebindestapel erreichen die Firste in 9 m Höhe nicht.

Es gibt keine Abfallgebände mit Verlorenen Betonabschirmungen (VBA). Bei etwa 83 % der Gebindemenge handelt es sich um zementierte bzw. betonierete Gebinde [4]. Die räumliche Verteilung dieser Gebinde in der ELK ist nicht dokumentiert.

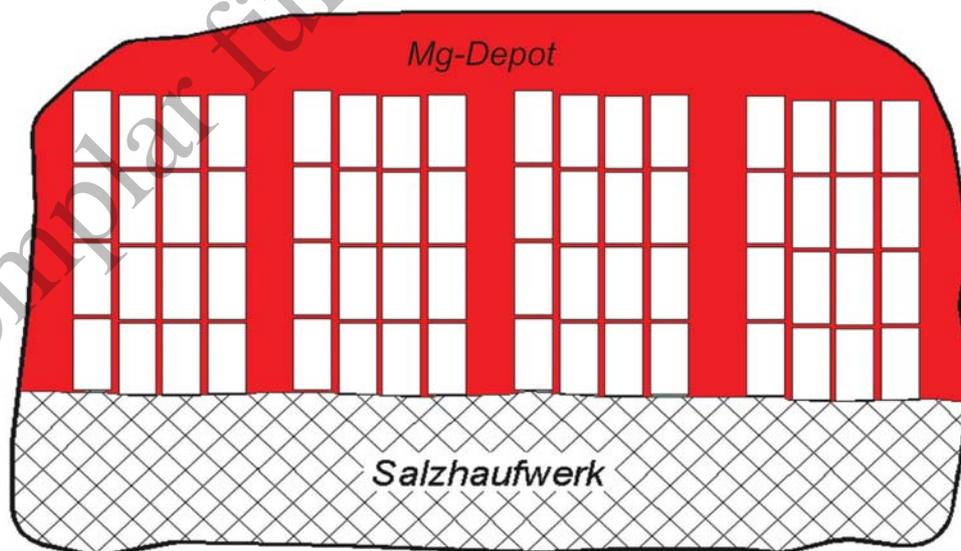


Abb. 3e Schematische Darstellung der Einlagerung und Nachverfüllung in ELK 4/750.

Die Verteilung des Inventars an relevanten Radionukliden in Gew. % ist im Anhang C aufgeführt. Die hinsichtlich der Aktivität [Bq] bestimmenden Isotope eines Elements sind farbig

markiert. Unter Berücksichtigung beider Kriterien befinden sich Plutonium und Americium vollständig in nicht zementierten Gebinden, dagegen Uran und Radium vollständig in zementierten bzw. betonierten Gebinden.

3.3.5 Verfüllung der Nebenkammer 9/750

Situation

Die Nebenkammer 9/750 ist zum Teil mit Eigenversatz verfüllt und weist unverfüllte Resthohlräume auf. Von der Firste des Abbaus führen zwei mit Salzversatz verfüllte Rolllöcher zur 725-m-Sohle.

Die Nebenkammer ist mit den benachbarten ELK 10/750 und 8/750 über jeweils zwei hoch durchlässige, mit Kammerverschluss versehene und / oder Salzversatz verfüllte Durchhiebe verbunden (siehe Abb. 3a).

Verfüllung

Der bereits verfüllte Eigenversatz im Abbau wird planiert, mit Sorelbeton abgedeckt und mit Sorelmörtel nachinjiziert, ohne das die Durchhiebe im Firstniveau von Abbau 9 zur ELK 10 bzw. ELK 8 mit Sorelbeton verschlossen werden (Abb. 3b). Unter die Firste des Abbaus wird Mg-Depot über die gesamte Abströmfläche zur 725-m-Sohle eingebaut. Eine vollflächige Schicht Mg-Depot von etwa 1 m Mächtigkeit enthält mindestens die für die Pufferung des geochemischen Milieus in ELK 778/750 und 10/750 notwendige Menge Mg-Depot³. Um die Durchhiebe im Firstniveau vom Abbau 9/750 zu den ELK nicht mit Sorelbeton zu verschließen, wird in der technischen Planung eine etwa 4 m mächtige Schicht Mg-Depot veranschlagt [7].

Zu Beginn des Betrachtungszeitraumes ist der initiale Porenraum im Versatzkörper und in den Auflockerungszonen im Salzgestein weitgehend mit Schutzfluid und untergeordnet mit Grubenluft gefüllt. Das initiale Lösungsvolumen wird durch eine integrale Porosität des gesamten kompaktierbaren Versatzkörpers abgebildet, da sich Anfangsporosität des injizierten Eigenversatzes (etwa 30 %) und geplante Einbauporosität des Mg-Depots (etwa 25 %) nicht signifikant unterscheiden. Der mit Grubenluft gefüllte Anteil des Porenraumes beträgt etwa ein Fünftel (19 %) und wird als effektive residuale Gassättigung abgebildet [5].

Signifikant erhöhte Strömungswiderstände sind auch im Zuge der Nachverfüllung nicht zu erwarten, da injizierter Eigenversatz und Mg-Depot (Brucit-Granulat) eine vergleichbare Durchlässigkeit aufweisen [8]. Durch Umsetzung von Brucit zu Sorelphasen können sich lokal erhöhte Strömungswiderstände im Versatzkörper bilden. Diese lokalen Bereiche sind jedoch nicht eingespannt und werden durch gebirgsmechanische Beanspruchung überprägt.

³ Unterstellt man eine 1 m mächtige Schicht Mg-Depot, sind das etwa 1.110 m³ Brucit-Granulat bzw. etwa 1.666 t Brucit - ohne den Brucit der Nachinjektion in der Kontur gemäß [7].

Auch der Sorelbeton stellt keinen signifikanten Strömungswiderstand dar, da dieser mehrfach durchbohrt und infolge gebirgsmechanischer Beanspruchung zerschert wird, da auch diese Schicht nicht triaxial eingespannt ist.

Daten für die Geometrie der Grubenbaue und deren Verfüllung mit Eigenversatz sind aus dem Risswerk entnommen. Die grundsätzliche technische Umsetzung der geplanten Nachverfüllung im Abbau 9/750 ist in [7] beschrieben.

3.3.6 Verfüllung der Auffahrungen zwischen den Kammern

Die Durchhiebe zwischen den ELK und den Nebenkammern im ELB sind mit Eigenversatz zumindest teilverfüllt oder mit einem alten Verschlussbauwerk aus Salzbeton versehen [3]. Die nördlichen Durchhiebe zwischen allen Kammern werden mit Sorelmörtel nachinjiziert oder mit Sorelbeton nachverfüllt (Abb. 3a). Da kein Nachschnitt der Kontur erfolgt, bleiben die Durchhiebe relativ hoch durchlässig.

Der Porenraum des Versatzes und der Auflockerungszonen im Wirtsgestein ist nach dem Einleiten des Schutzfluids weitgehend mit diesem und untergeordnet mit Grubenluft gefüllt. Das Lösungsvolumen in den Auffahrungen wird im Strukturmodell für die Transportmodellierungen im Nahfeld (Grubengebäude + Austrittsstelle zum Deckgebirge) [5] dem kompaktierbaren Versatz in der Nebenkammer zugeschlagen und durch deren integrale Porosität abgebildet. Ein erhöhter Strömungswiderstand in den Auffahrungen wird durch den alten Verschluss im Durchhieb zwischen Abbau 9/750 und ELK 8/750 im Firstniveau erwartet, bis der Salzbeton hinreichend korrodiert ist.

Daten für die Geometrie der Auffahrungen und deren bereits vorliegende Verfüllung sind in [3] dargestellt. Die technische Umsetzung der Nachverfüllungen ist in [7] beschrieben.

3.4 Einlagerungsbereich LAW3

Das Konzept für die Verfüllung im ELB LAW3 ist auf eine langzeitige chemische Stabilisierung des Milieus in den ELK ausgerichtet.

3.4.1 Situation im Einlagerungsbereich zu Beginn des Nachweiszeitraumes

ELB LAW3 umfasst die ELK 5/750, 6/750, 7/750 und 11/750 sowie die den Abbauen nördlich vorgelagerte, südliche Richtstrecke nach Osten (Abb. 4a). LAW3 ist auf der 750-m-Sohle umgeben von Sorelbeton, ausgelegt als Stützversatz (gelb), Widerlager (blau) und Strömungsbarriere (grün). Die südlichen Richtstrecke nach Osten, einschließlich der Durchhiebe zu den ELK, und die von hier ausgehenden Rolllöcher zur 725-m-Sohle werden vollständig mit Sorelbeton verfüllt.

Die aufgelockerten Gebirgsbereiche zwischen dem ELB und der 725-m-Sohle (Schweben) werden aufgrund der geringeren Strömungswiderstände als bevorzugte Austrittspfade aus dem LAW3 angesehen.

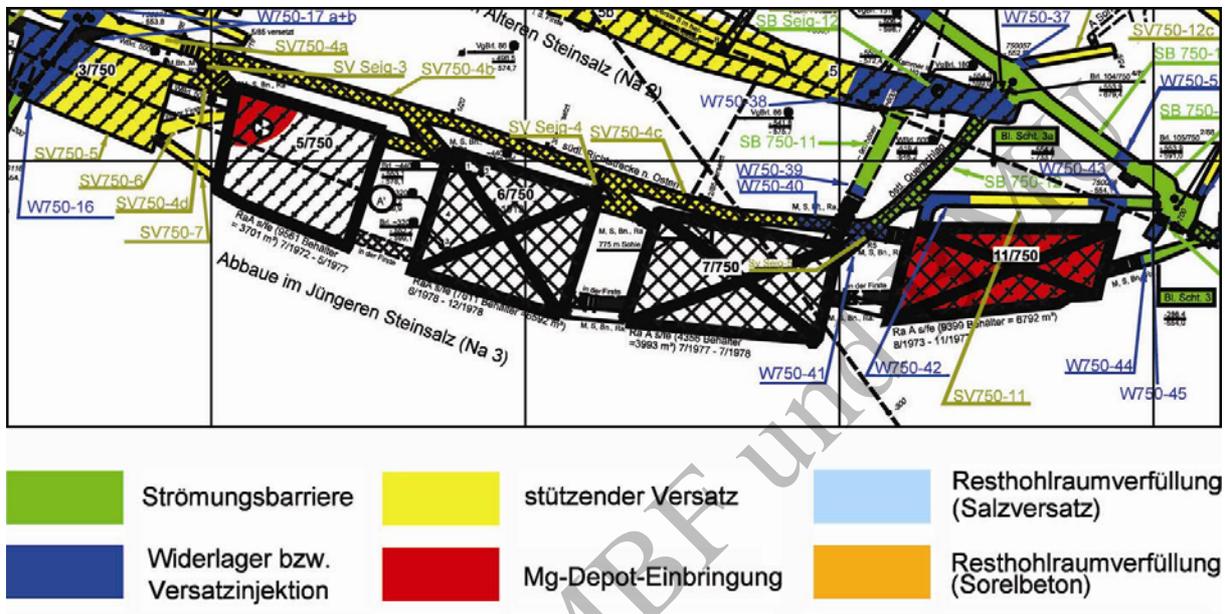


Abb. 4a ELB LAW3 – mit technischen Maßnahmen (Sohlenriss).

3.4.2 Situation und Verfüllung der Einlagerungskammer 5/750

Die ELK wurde 1919 im Steinsalz aufgefahren. Sie ist im Westen und im Osten durch einen 20 m starken Pfeiler sowie im Norden durch einen 5 bis 6 m starken Pfeiler begrenzt (Abb. 4a). Durch diese Pfeiler bestehen Durchhiebe

- zum Abbau 3/750 im Westen, mit Sorelbeton (Stützversatz),
- zur ELK 6/750 im Osten, mit Eigenversatz oder mit Sorelmörtel nachinjiziert (Stützversatz) und
- zur 2. südlichen Richtstrecke nach Osten im Norden, mit altem Kammerverschluss und Sorelmörtel nachinjiziert (Stützversatz).

Im Bereich des Stützversatzes nordwestlich der ELK 5/750 sitzt das Rollloch 3 auf (Abb. 4b), das mit Sorelbeton (Stützversatz) verfüllt wird.

Die ELK ist durch eine in etwa 14 m starke, aufgelockerte Schweben von der 725-m-Sohle abgegrenzt (siehe Abb. 4b). Das Salzgestein bis zur 775-m-Sohle wird als hydraulisch dicht unterstellt.

Verfüllung

ELK 5/750 ist mit einer Melange aus Abfallgebinden und verstürztem Salzhautwerk verfüllt (vgl. Abb. 4c). Im oberen westlichen Bereich der ELK liegen unverfüllte Resthohlräume von 320 m³ vor [3]. Diese werden mit Mg-Depot verfüllt (Abb. 4a und 4b); als integrale Porosität des verfüllten Resthohlraumes wird 47 ± 5 % angenommen. In den Porenraum der ELK wird Schutzfluid, angereichert mit ca. 5 g Brucit pro Liter Schutzfluid, eingeleitet.

Zu Beginn des Betrachtungszeitraumes ist der initiale Porenraum in der Abfallmelange, im Mg-Depot und in den Auflockerungszonen des Wirtsgesteins weitgehend mit Schutzfluid sowie untergeordnet mit Grubenluft gefüllt. Das initiale Lösungsvolumen in der ELK wird durch das Verfüllkonzept G bestimmt und durch eine integrale Porosität der kompaktierbaren Melange aus den Kammerinhaltsstoffen abgebildet. Der mit Grubenluft gefüllte Anteil des initialen Porenraumes beträgt etwa ein Fünftel (21 %) und wird als effektive residuale Gassättigung abgebildet [5].

Die anfänglich im Porenraum des im Firstbereich verfüllten Mg-Depots gespeicherte Lösung, welche sich im Gleichgewicht mit diesem befindet, wird durch die zum Firstbereich hin ausgerichtete Lösungsbewegung in der ELK (siehe [5]) rasch aus dem Porenraum im Mg-Depot in die aufgelockerte Schwebel hin verdrängt.

Signifikant erhöhte Strömungswiderstände in der ELK werden aufgrund der hohen integralen Porosität in der Abfallmelange (etwa 44 %) bzw. der Zwickelhohlräume zwischen Gebinden für unwahrscheinlich erachtet. Auch durch die Auffüllung des westlichen Firstbereiches mit Mg-Depot wird sich der Strömungswiderstand für die gesamte vertikale Abströmfläche nicht signifikant erhöhen.

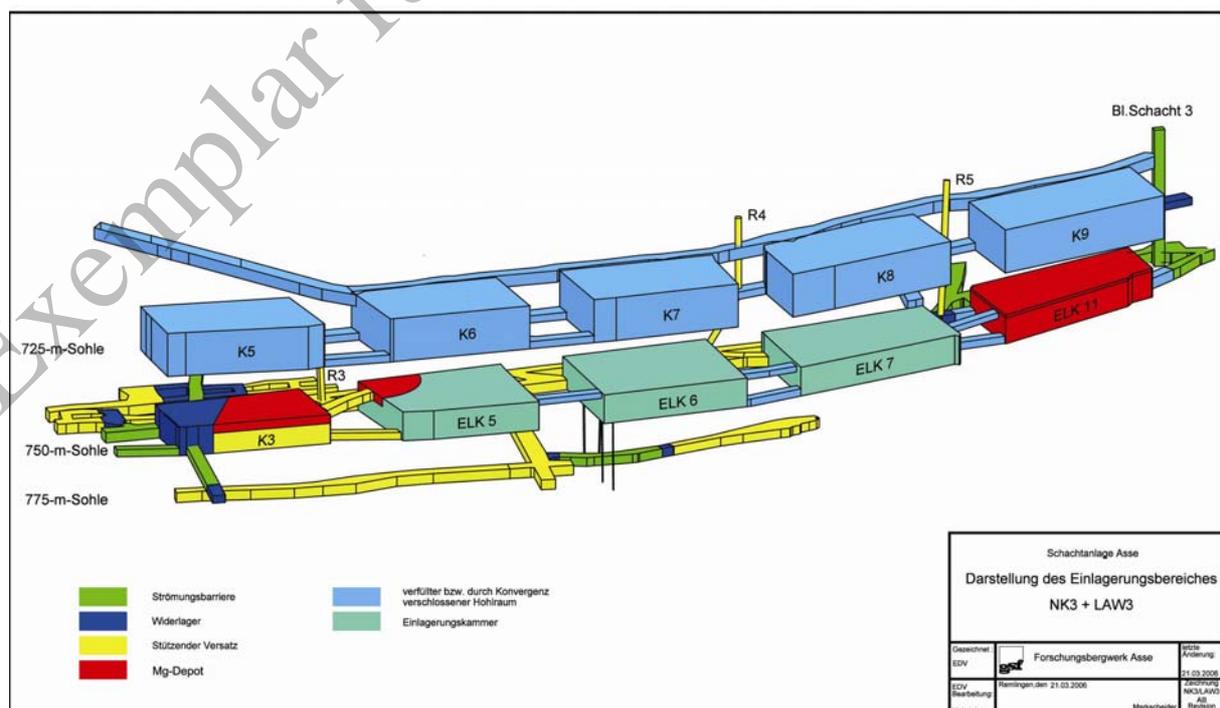


Abb. 4b ELB LAW3 – Verfüllkonzept G.

Ohne Mg-Depots ist in ELK 5/750 eine Versauerung des geochemischen Milieus nicht auszuschließen [6]. Daher wird der unverfüllte Resthohlraum mit Mg-Depot verfüllt (Abb. 4b und 4c).

Die Daten für die Geometrie der Grubenbaue und für die Abfallmelange sind in [3] abgeleitet und beschrieben. Das Verfüllkonzept G für die ELK 5/750 ist im Anhang A aufgelistet, die grundsätzliche technische Umsetzung ist in [7] beschrieben.

Um die prognostizierten Rückhalteeffekte abzusichern, wird zusätzlich Mg-Depot in den potenziellen Austrittspfad über Kammer 3/750 eingebracht. Mg-Depot wird über die gesamte Abströmfläche zur 725-m-Sohle unter die Firste eingebaut. Eine ca. 1 m mächtige Schicht⁴ enthält die für die Pufferung des geochemischen Milieus notwendige Menge Mg-Depot. Das Verfüllkonzept und die technische Umsetzung sind in [7] dargelegt.

Inventar

Die 9.561 Abfallgebände wurden sowohl mit Hilfe der Abkipptechnik im unteren und oberen Bereich als auch der liegenden Stapeltechnik im oberen Bereich der ELK unter Zugabe von Eigenversatz eingelagert und weisen ein Gebindebruttovolumen von 3.701 m³ auf [3]. Die Melange aus Abfallgebänden und Salzhautwerk reicht nur teilweise bis an die Firste in mehr als 9 m Höhe (Abb. 4c)⁵.

Es gibt 1.198 Abfallgebände mit Verlorenen Betonabschirmungen (VBA). Bei etwa 46 % der Gebindemenge handelt es sich um zementierte bzw. betonierte Gebände [4]. Die räumliche Verteilung dieser Gebände in der ELK ist nicht dokumentiert.

Die Verteilung des Inventars an relevanten Radionukliden in Gew. % ist im Anhang C aufgeführt. Die hinsichtlich der Aktivität [Bq] bestimmenden Isotope eines Elements sind farblich markiert. Unter Berücksichtigung beider Kriterien befinden sich 100 % des Plutoniums und Americiums sowie mehr als 91 % des Urans in zementierten bzw. betonierten Gebänden und / oder in VBA-Gebänden. Das eingelagerte Ra-226 befindet sich dagegen nur zu 12 % in solchen Gebänden.

3.4.3 Situation und Verfüllung der Einlagerungskammer 6/750

Die ELK wurde 1919 im Steinsalz aufgefahren. Sie ist im Westen und Osten durch einen etwa 20 m starken Pfeiler sowie im Norden durch einen 4 bis 6 m starken Pfeiler begrenzt (Abb. 4d). Durch diese Pfeiler bestehen Durchhiebe

⁴ Im Zuge der technischen Umsetzung kann die Schicht eine größere Mächtigkeit als 1 m aufweisen.

⁵ Bei der Einleitung von Schutzfluid wird sich durch Sackung der Abfallmelange ein Firstspalt öffnen, in den dann Mg-Depot eindringt [7].

- zur ELK 5/750 im Westen, mit Eigenversatz oder mit Sorelmörtel nachinjiziert (Stützversatz),
- zur ELK 7/750 im Osten, mit altem Kammerverschluss und Eigenversatz oder mit Sorelmörtel nachinjiziert (Stützversatz) und
- zur 2. südlichen Richtstrecke nach Osten im Norden, mit altem Kammerverschluss und Sorelmörtel nachinjiziert (Stützversatz).

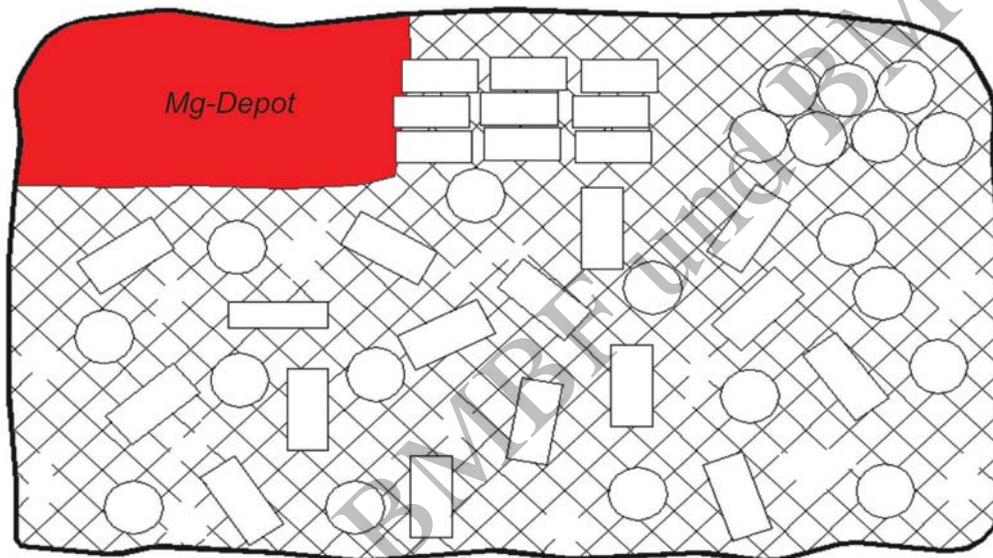


Abb. 4c Schematische Darstellung der Einlagerung und Nachverfüllung in ELK 5/750.

Das Rolloch 4, das sich im Bereich der Auflockerungszone an der nordöstlichen Kammer-ecke befindet, wird mit Sorelbeton (Stützversatz) verfüllt.

Im westlichen Kammerbereich wurden in der Sohle vier vertikale Bohrungen in den Teufenbereich der 775-m-Sohle abgeteuft und von dort aus mit Bohrungen umfächert [3]. Diese Bohrungen werden mit Sorelbeton verfüllt oder mit Sorelmörtel nachinjiziert. Die ELK ist durch eine in etwa 14 m starke, aufgelockerte Schwebelage von der 725-m-Sohle abgegrenzt (siehe Abb. 4b).

Verfüllung

ELK 6/750 ist mit einer Melange aus Abfallgebinden und verstärktem Salzhaufwerk verfüllt (vgl. Abb. 4d). Es werden keine unverfüllten Resthohlräume vermutet [3]. In den Porenraum der ELK wird Schutzfluid, angereichert mit ca. 5 g Brucit pro Liter Schutzfluid, eingeleitet.

Zu Beginn des Betrachtungszeitraumes ist der Porenraum in der Abfallmelange und in den Auflockerungszonen des Wirtsgesteins weitgehend mit Schutzfluid sowie untergeordnet mit Grubenluft gefüllt. Das initiale Lösungsvolumen in der ELK wird durch das Verfüllkonzept G

bestimmt und durch die integrale Porosität der kompaktierbaren Abfallmelange abgebildet. Der mit Grubenluft gefüllte Anteil des initialen Porenraumes beträgt etwa ein Fünftel (19 %) und wird als effektive residuale Gassättigung abgebildet [5].

Signifikant erhöhte Strömungswiderstände in der ELK werden aufgrund der integralen Porosität in der Abfallmelange (etwa 33 %) bzw. der Zwickelhohlräume zwischen den Gebinden für wenig wahrscheinlich erachtet.

Auch ohne Mg-Depots ist in der ELK 6/750 eine Versauerung des geochemischen Milieus auszuschließen [6]. Die Daten für die Geometrie der Grubenbaue und für die Abfallmelange sind in [3] abgeleitet und beschrieben. Das Verfüllkonzept G für ELK 6/750 ist im Anhang A aufgelistet.

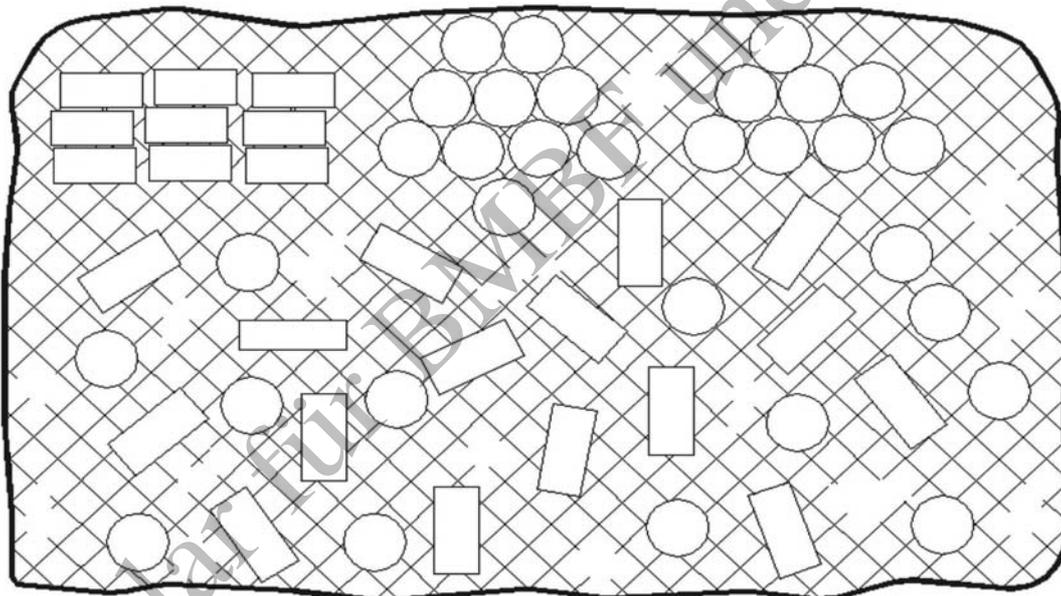


Abb. 4d Schematische Darstellung der Einlagerung in ELK 6/750.

Inventar

Die 7.611 Abfallgebände wurden sowohl mit Hilfe der Abkipptechnik im unteren Bereich als auch der liegenden Stapeltechnik im oberen Bereich der ELK unter Zugabe von Eigenversatz eingelagert und weisen ein Gebindebruttovolumen von 6.592 m³ auf [3]. Die Melange aus Abfallgebänden und Salzhautwerk reicht bis an die Firste in 9 m Höhe (Abb. 4d).

Es gibt 4.799 Abfallgebände mit Verlorenen Betonabschirmungen (VBA). Bei etwa 83 % der Gebindemenge handelt es sich um zementierte bzw. betonierte Gebinde [4]. Die räumliche Verteilung dieser Gebinde in der ELK ist nicht dokumentiert.

Die Verteilung des Inventars an relevanten Radionukliden in Gew. % ist im Anhang C aufgeführt. Die hinsichtlich der Aktivität [Bq] bestimmenden Isotope eines Elements sind farblich markiert. Unter Berücksichtigung beider Kriterien befinden sich 100 % des Plutoniums und Americiums sowie mehr als 99 % des Urans in zementierten bzw. betonierten Gebinden und / oder in VBA-Gebinden. Das eingelagerte Ra-226 befindet sich dagegen nicht in solchen Gebinden.

3.4.4 Situation und Verfüllung der Einlagerungskammer 7/750

Die ELK wurde 1920 im Steinsalz aufgefahren; in der südöstlichen Kammerecke ist in geringfügigem Umfang Carnallitit aufgeschlossen [3]. Sie ist im Westen und im Osten durch einen 20 m starken Pfeiler sowie im Norden nur durch einen 2 bis 4 m starken Pfeiler begrenzt (Abb. 4a). Durch die Pfeiler bestehen Durchhiebe

- zur ELK 6/750 im Westen, mit altem Kammerverschluss und Eigenversatz oder mit Sorelmörtel nachinjiziert (Stützversatz),
- zur ELK 11/750 im Osten, mit altem Kammerverschluss und / oder Eigenversatz sowie
- zur 2. südlichen Richtstrecke nach Osten im Norden, mit altem Kammerverschluss und Sorelmörtel nachinjiziert (Stützversatz).

Im nordöstlichen Kammerbereich gibt es zwei weitere Durchhiebe im Sohlen- und Firstniveau, die zu den nördlich gelegenen Abbauen im Älteren Steinsalz führen; in diese werden Strömungsbarrieren eingebaut. Im Bereich des Widerlagers nordöstlich der ELK 7/750 sitzt das Rollloch 5 auf (Abb. 4b), das mit Sorelbeton (Stützversatz) verfüllt wird.

Die ELK ist durch eine in etwa 14 m starke, aufgelockerte Schwebel von der 725-m-Sohle abgegrenzt (siehe Abb. 4b).

Verfüllung

ELK 7/750 ist mit einer Melange aus Abfallgebinden und verstürztem Salzhaufwerk verfüllt (vgl. Abb. 4e). Es werden keine unverfüllten Resthohlräume vermutet [3]. In den Porenraum der ELK wird Schutzfluid, angereichert mit ca. 5 g Brucit pro Liter Schutzfluid, eingeleitet.

Zu Beginn des Betrachtungszeitraumes ist der Porenraum in der Abfallmelange und in den Auflockerungszonen des Wirtsgesteins weitgehend mit Schutzfluid sowie untergeordnet mit Grubenluft gefüllt. Das initiale Lösungsvolumen in der ELK wird durch das Verfüllkonzept G bestimmt und durch die integrale Porosität der kompaktierbaren Abfallmelange abgebildet. Der mit Grubenluft gefüllte Anteil des initialen Porenraumes beträgt etwa ein Viertel (26 %) und wird als effektive residuale Gassättigung abgebildet [5].

Signifikant erhöhte Strömungswiderstände in der ELK werden aufgrund der hohen integralen Porosität in der Abfallmelange (etwa 45 %) bzw. der Zwickelhohlräume zwischen Gebinden für unwahrscheinlich erachtet.

Auch ohne Mg-Depots ist in der ELK 7/750 eine Versauerung des geochemischen Milieus auszuschließen [6]. Die Daten für die Geometrie der Grubenbaue und für die Abfallmelange sind in [3] abgeleitet und beschrieben. Das Verfüllkonzept G für ELK 7/750 ist im Anhang A aufgelistet.

Inventar

Die 4.356 Abfallgebilde wurden sowohl mit Hilfe der Abkipptechnik im unteren Bereich als auch der liegenden Stapeltechnik im oberen Bereich der ELK unter Zugabe von Eigenversatz eingelagert und weisen ein Gebindebruttovolumen von 3.993 m³ auf [3]. Die Melange aus Abfallgebilden und Salzhautwerk reicht bis an die Firste in 9 m Höhe (Abb. 4e).

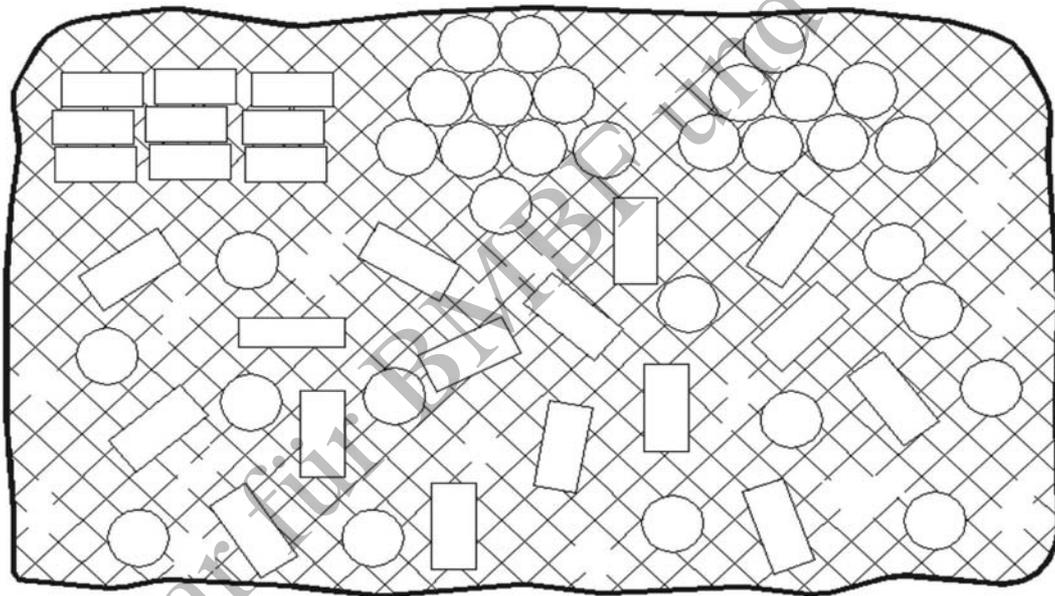


Abb. 4e Schematische Darstellung der Einlagerung in ELK 7/750.

Es gibt 3.138 Abfallgebilde mit Verlorenen Betonabschirmungen (VBA). Bei etwa 70 % der Gebindemenge handelt es sich um zementierte bzw. betonierte Gebinde [4]. Die räumliche Verteilung dieser Gebinde in der ELK ist nicht dokumentiert.

Die Verteilung des Inventars an relevanten Radionukliden in Gew. % ist im Anhang C aufgeführt. Die hinsichtlich der Aktivität [Bq] bestimmenden Isotope eines Elements sind farbig markiert. Unter Berücksichtigung beider der Kriterien befinden sich 100 % des Plutoniums und Americiums sowie mehr als 99 % des Urans in zementierten bzw. betonierten Gebinden und / oder in VBA-Gebinden. Das eingelagerte Ra-226 befindet sich dagegen nicht in solchen Gebinden.

3.4.5 Situation und Verfüllung der Einlagerungskammer 11/750

Die ELK wurde 1921 im Steinsalz aufgefahren und ist im Westen durch einen 20 m starken, im Osten durch einen 45 m starken sowie im Norden durch einen 6 m starken Pfeiler begrenzt (Abb. 4a). Durch die Pfeiler bestehen Durchhiebe

- zur ELK 7/750 im Westen, mit altem Kammerverschluss und / oder Eigenversatz,
- zur ELK 12/750 (LAW 4) im Osten, mit einer Strömungsbarriere sowie
- zur 2. südlichen Richtstrecke nach Osten im Norden, mit Sorelbeton (Widerlager).

Im nordwestlichen Kammerbereich gibt es einen weiteren Durchhieb mit Kammerverschluss im Sohlenniveau, der zu den nördlich gelegenen Abbauen im Älteren Steinsalz führt; in diesen wird eine Strömungsbarriere eingebaut. Im Bereich des Widerlagers sitzt das Rolloch 5 auf, das mit Sorelbeton (Stützversatz) verfüllt wird.

Die ELK ist durch eine in etwa 14 m starke, aufgelockerte Schewe von der 725-m-Sohle abgegrenzt (siehe Abb. 4b). Das Salzgestein bis zur 775-m-Sohle wird als hydraulisch dicht unterstellt.

Verfüllung

Die ELK 11/750 ist mit Abfallgebinden und einer Salzsicht verfüllt (vgl. Abb. 4f). In der ELK liegen unverfüllte Resthohlräume von etwa 1.000 m³ vor [3]. Diese werden vollständig mit Mg-Depot verfüllt (Abb. 4b und 4f); als integrale Porosität des verfüllten Resthohlraumes wird $47 \pm 5 \%$ angenommen. In den Porenraum der ELK wird Schutzfluid, angereichert mit ca. 5 g pro Liter Schutzfluid, eingeleitet.

Zu Beginn des Betrachtungszeitraumes ist der initiale Porenraum in der Abfallmelange, im Mg-Depot und in den Auflockerungszonen des Wirtsgesteins weitgehend mit Schutzfluid sowie untergeordnet mit Grubenluft gefüllt. Das initiale Lösungsvolumen in der ELK wird durch Verfüllkonzept G bestimmt und durch eine integrale Porosität der kompaktierbaren Melange aus den Kammerinhaltsstoffen abgebildet. Der noch mit Grubenluft gefüllte Anteil des initialen Porenraumes beträgt etwa ein Viertel (25 %) und wird als effektive residuale Gassättigung abgebildet [5].

Die anfänglich im Porenraum des im Firstbereich verfüllten Mg-Depots gespeicherte Lösung, welche sich im Gleichgewicht mit diesem befindet, wird durch die zum Firstbereich hin ausgerichtete Lösungsbewegung in der ELK (siehe [5]) rasch aus dem Porenraum im Mg-Depot in die aufgelockerte Schewe hin verdrängt.

Signifikant erhöhte Strömungswiderstände in der ELK werden aufgrund der integralen Porosität in der Abfallmelange (etwa 29 %) bzw. der Zwickelhohlräume zwischen Gebinden für wenig wahrscheinlich erachtet. Auch durch die Verfüllung des Firstbereiches mit Mg-Depot wird sich der Strömungswiderstand für die gesamte vertikale Abströmfläche nicht signifikant erhöhen, da die Verfüllung triaxial nicht eingespannt ist und infolge gebirgsmechanischer Beanspruchungen zerschert.

Auch ohne Mg-Depots ist in der ELK 11/750 eine Versauerung des geochemischen Milieus auszuschließen [6]. Die Daten für die Geometrie der Grubenbaue und das Abfallvolumen sind in [3] abgeleitet und beschrieben. Das Verfüllkonzept G für ELK 11/750 ist im Anhang A aufgelistet, die grundsätzliche technische Umsetzung ist in [7] beschrieben.

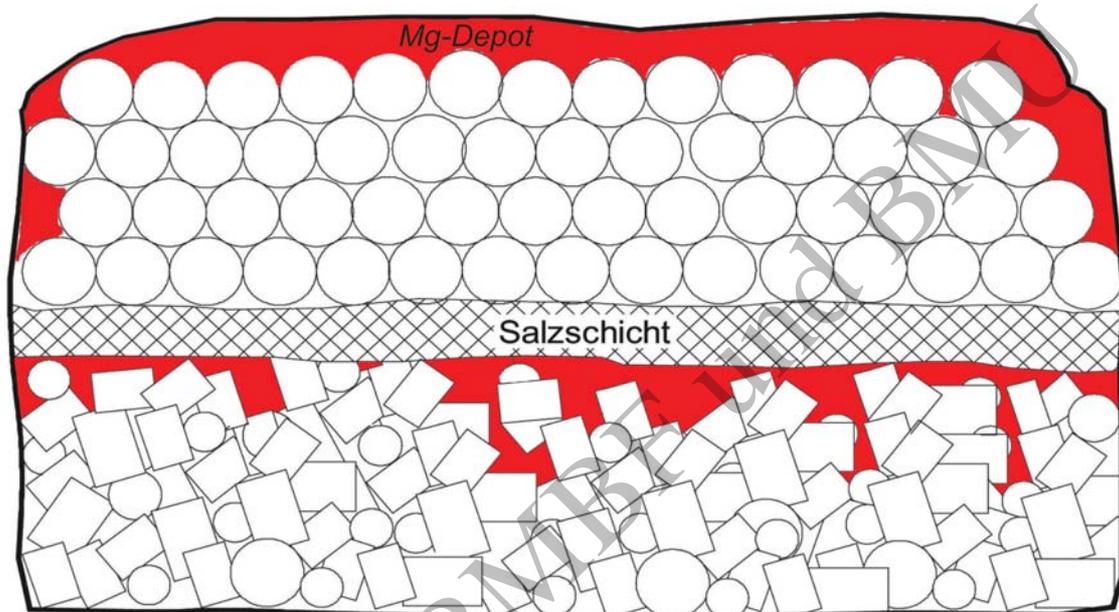


Abb. 4f Schematische Darstellung der Einlagerung und Nachverfüllung in ELK 11/750.

Inventar

Die 9.399 Gebinde wurden sowohl mit Hilfe der Abkipptechnik im unteren Bereich als auch der liegenden Stapeltechnik im oberen Bereich der ELK eingelagert (Abb. 4f) und weisen ein Gebindebruttovolumen von 3.701 m³ auf [3]. Die Abfallgebände erreichen nicht die Firste in 9 m Höhe; die lichte Höhe nach der Einlagerung betrug maximal 1 m.

Es gibt 4.731 Abfallgebände mit Verlorenen Betonabschirmungen (VBA). Bei etwa 74 % der Gebindemenge handelt es sich um zementierte bzw. betonierte Gebinde [4]. Die räumliche Verteilung dieser Gebinde in der ELK ist nicht dokumentiert.

Die Verteilung des Inventars an relevanten Radionukliden in Gew. % ist im Anhang C aufgeführt. Die hinsichtlich der Aktivität [Bq] bestimmenden Isotope eines Elements sind farblich markiert. Unter Berücksichtigung beider Kriterien befinden sich 100 % des Plutoniums und Americiums sowie mehr als 85 % des Urans in zementierten bzw. betonierten Gebinden und / oder in VBA-Gebinden. Das eingelagerte Ra-226 befindet sich dagegen nicht in solchen Gebinden.

3.4.6 Verfüllung der Auffahrungen zwischen den Kammern

Die Durchhiebe zwischen den ELK sind mit Eigenversatz verfüllt oder mit alten Verschlussbauwerken aus Salzbeton versehen [3]. Die nördlichen Durchhiebe zwischen den ELK werden mit Sorelmörtel nachinjiziert. Die nördlichen Durchhiebe zwischen den ELK 6/750, 7/750 und 11/750 werden aufgrund der Verfüllung von Rolloch 5 bzw. Rolloch 6 hochwertig nachinjiziert (Abb. 4a) und sind daher geringer durchlässig. Der nördliche Durchhieb zwischen den ELK 5/750 und 6/750 bleibt dagegen hoch durchlässig, da kein Nachschnitt der Kontur erfolgt.

Der Porenraum des Versatzes und der Auflockerungszonen im Wirtsgestein ist nach dem Einleiten des Schutzfluids weitgehend mit diesem und untergeordnet mit Grubenluft gefüllt. Das Lösungsvolumen in diesen Auffahrungen wird im Strukturmodell für die Transportmodellierungen im Nahfeld (Grubengebäude + Austrittsstelle zum Deckgebirge) [5] dem Anteil des kompaktierbaren Versatzes zugeschlagen und durch die integrale Porosität von Eigenversatz abgebildet. Etwas erhöhte Strömungswiderstände in den Auffahrungen werden zum einen durch die alten Kammerverschlüsse – bis der Salzbeton hinreichend korrodiert ist – und zum anderen durch die hochwertige Nachinjektion im Bereich von Rolloch 5 und Rolloch 6 erwartet.

Daten für die Geometrie der Auffahrungen und deren bereits vorliegende Verfüllung sind in [3] dargestellt. Die technische Umsetzung der Nachverfüllungen ist in [7] beschrieben.

3.5 Einlagerungsbereich LAW4

Das Konzept für die Verfüllung vom ELB LAW4 ist sowohl auf eine langzeitige chemische Stabilisierung des Milieus in den ELK als auch auf die Lenkung der austretenden Lösungen über Mg-Depot ausgerichtet.

3.5.1 Situation im Einlagerungsbereich zu Beginn des Nachweiszeitraumes

ELB LAW4 umfasst die ELK 12/750, 2/750 und 1/750 (Abb. 5a). LAW4 ist auf der 750-m-Sohle umgeben von Sorelbeton, ausgelegt als Stützversatz (gelb), Widerlager (blau) und Strömungsbarriere (grün). Die Durchhiebe zwischen ELK und Carnallitbaufeld sowie das nordwestlich von ELK 1/750 aufgefahrene Gesenk zur 700-m-Sohle werden mit Sorelbeton verfüllt.

Die aufgelockerten Gebirgsbereiche zwischen ELB und Carnallitbaufeld werden aufgrund der geringeren Strömungswiderstände als bevorzugte Austrittspfade aus dem ELB LAW4 angesehen.

3.5.2 Situation und Verfüllung der Einlagerungskammer 12/750

Die ELK wurde 1922 im Steinsalz aufgefahren. Sie ist im Südwesten durch einen 45 m mächtigen Pfeiler und im Nordosten durch einen 20 m mächtigen Pfeiler begrenzt (siehe Abb. 5a). Durch die Pfeiler bestehen Durchhiebe

- zur ELK 11/750 (LAW3) im Südwesten, mit Strömungsbarrieren und
- zur ELK 2/750 im Nordosten, mit altem Kammerverschluss und Eigenversatz oder mit Mg-Depot.

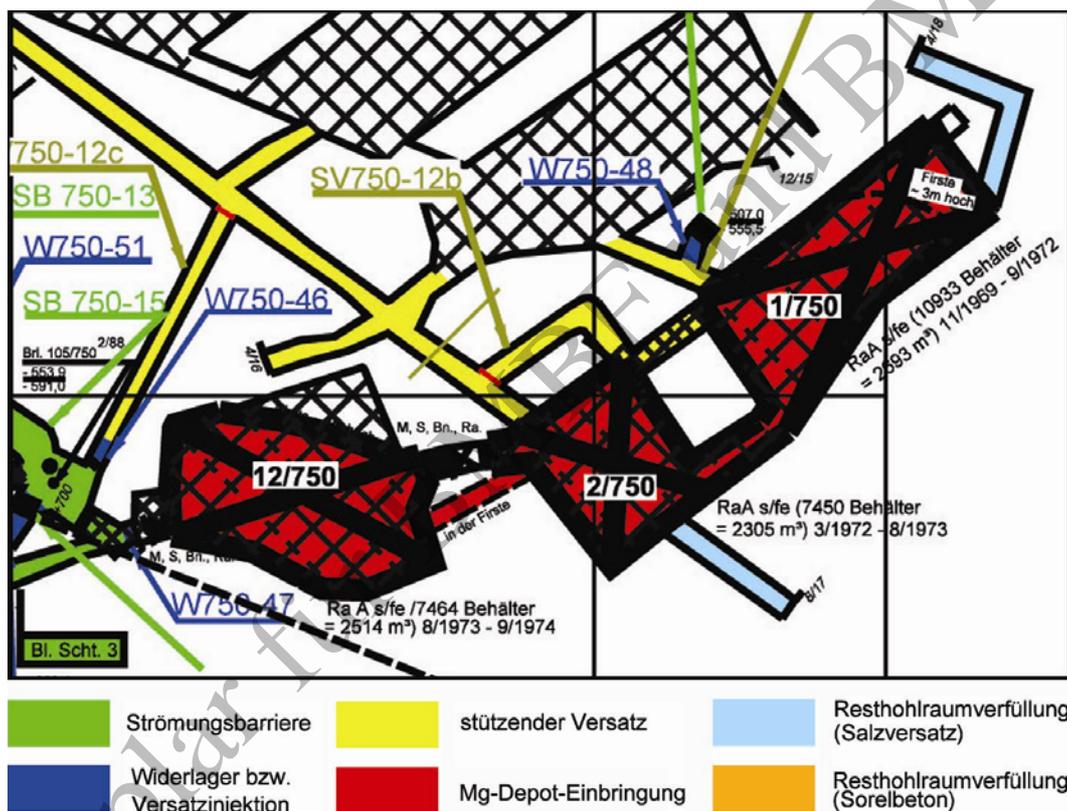


Abb. 5a ELB LAW4 – mit technischen Maßnahmen (Sohlenriss).

Südöstlich und unterhalb der ELK bestehen weder Auffahrungen noch Auflockerungszonen bis zum übrigen Grubengebäude. Das Salzgestein bis zur 775-m-Sohle wird als hydraulisch dicht unterstellt.

Nordwestlich befinden sich mit Sorelbeton verfüllte Strecken zwischen Blindschacht 3 und Carnallititbaufeld auf der A-Sohle im Firstniveau der ELK und auf der B-Sohle darüber, von denen es keine Auffahrung zur ELK gibt (Abb. 5b). Die Auflockerungszone der ELK 12/750 und die des Carnallititbaufeldes überschneiden sich untereinander sowie die geologische Trennfläche zwischen Leine-Steinsalz (hellblau) und Carnallitit der Staßfurt-Serie (magenta). Die Strömungswiderstände im aufgelockerten Gebirgsbereich von der ELK zur östlichen Strecke in Höhe der A-Sohle und von der ELK zur B-Sohle werden als ähnlich eingeschätzt.

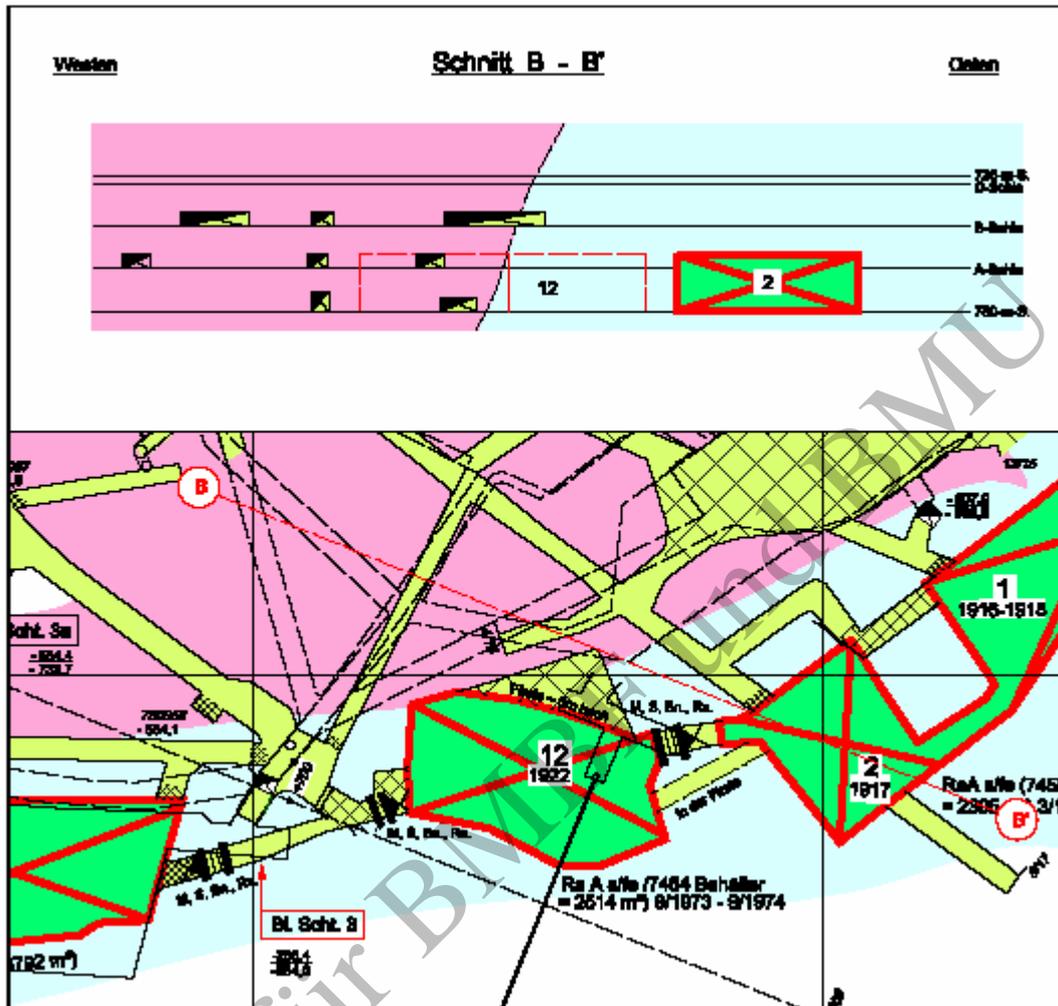


Abb. 5b LAW4 – Wegsamkeiten zum Carnallititbaufeld (Maßstab 1 : 1000).

Verfüllung

Die ELK 12/750 ist mit Abfallgebinden, die auf einer Schicht Eigenversatz gestapelt sind, nicht vollständig aufgefüllt (siehe Abb. 5d). Im Firstbereich der ELK liegen unverfüllte Resthohlräume von 3.191 m³ vor [3]. Diese werden mit Mg-Depot verfüllt; als integrale Porosität des verfüllten Resthohlraumes wird $47 \pm 5 \%$ angenommen. In den Porenraum der ELK wird Schutzfluid, angereichert mit ca. 5 g Brucit pro Liter Schutzfluid, eingeleitet. Die von der 700-m-Sohle aus gestoßenen Einleitbohrungen sind zu Beginn des Betrachtungszeitraumes nicht verschlossen; dies erfolgt, etwa ein Jahr später, kurz vor der Einleitung des Schutzfluids auf der 700-m-Sohle [2]⁶.

Zu Beginn des Betrachtungszeitraumes ist der initiale Porenraum im Abfallstapel, im Mg-Depot und in den Auflockerungszonen des Wirtsgesteins weitgehend mit Schutzfluid sowie

⁶ Dieses Detail wird im Nachweismodell nicht berücksichtigt, wodurch die initiale Druckdifferenz an den Strömungsbarrieren westlich der ELK 12/750 überschätzt wird.

untergeordnet mit Grubenluft gefüllt. Das initiale Lösungsvolumen in der ELK wird durch das Verfüllkonzept G bestimmt und durch eine integrale Porosität der kompaktierbaren Melange aus den Kammerinhaltsstoffen abgebildet. Der noch mit Grubenluft gefüllte Teil des initialen Porenraumes beträgt etwa ein Fünftel (19 %) und wird als effektive residuale Gassättigung abgebildet [5].

Die anfänglich im Porenraum des im Firstbereich verfüllten Mg-Depots gespeicherte Lösung, welche sich im Gleichgewicht mit diesem befindet, wird durch die zum Firstbereich hin ausgerichtete Lösungsbewegung in der ELK rasch aus dem Porenraum im Mg-Depot in den aufgelockerten Gebirgsbereich hin zum Carnallitbaufeld verdrängt.

Unterschiedliche Strömungswiderstände in der ELK werden aufgrund der Zwickelhohlräume zwischen den Gebinden und der hohen Durchlässigkeit von Mg-Depot (Brucit-Granulat [8]) für wenig wahrscheinlich erachtet. Durch die Umsetzung von Brucit zu Sorelphasen können sich lokal erhöhte Strömungswiderstände im Mg-Depot ausbilden; diese Bereiche des Versatzes werden gebirgsmechanisch beansprucht und weisen ein an Kristallisationsgrenzen orientiertes Rissgefüge auf.

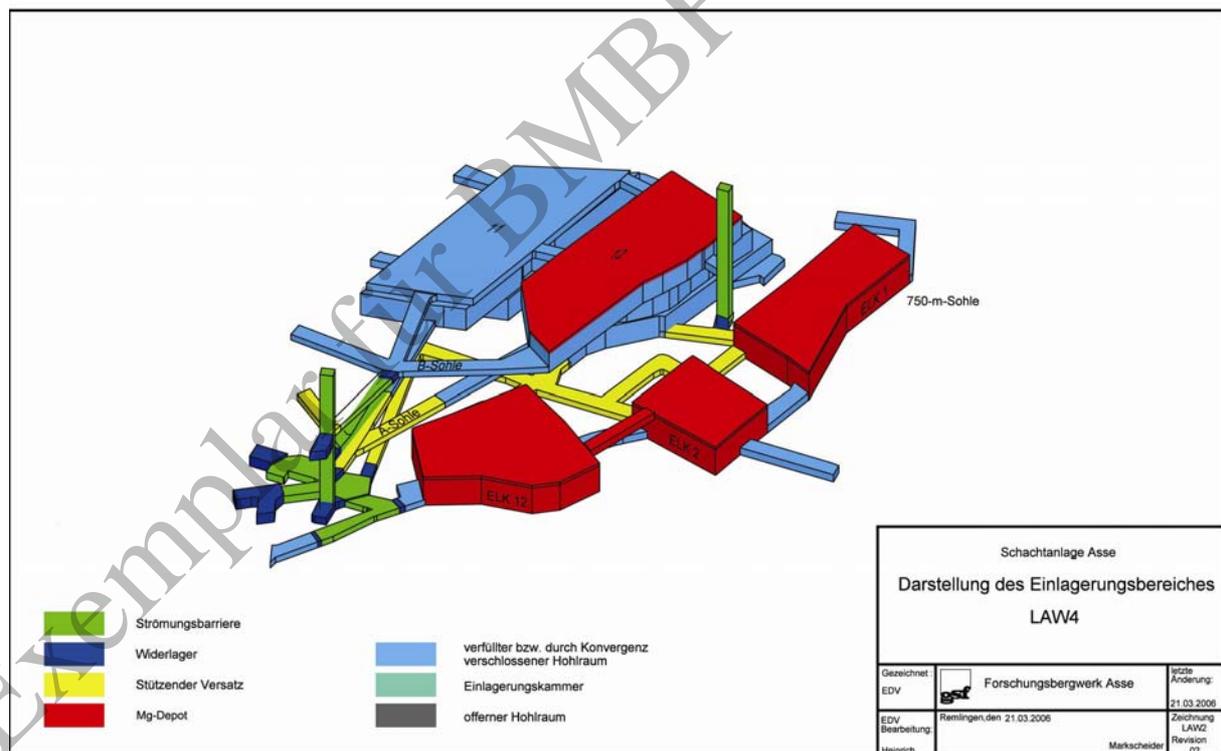


Abb. 5c ELB LAW4 – Verfüllkonzept G.

Ohne Mg-Depots ist in ELK 12/750 eine Versauerung des geochemischen Milieus nicht auszuschließen [6]. Daher wird der unverfüllte Resthohlraum mit Mg-Depot verfüllt (Abb. 5c und 5d).

Die Daten für die Geometrie der Grubenbaue und das Abfallvolumen sind in [3] abgeleitet und beschrieben. Das Verfüllkonzept G für die ELK 12/750 ist im Anhang A aufgelistet; die grundsätzliche technische Umsetzung ist in [7] beschrieben.

Um die prognostizierten Rückhalteeffekte abzusichern, wird zusätzlich Mg-Depot in den Austrittspfad über Abbau 12 Ost im Carnallitbaufeld eingebracht. Im Firstbereich des Abbaus wird Mg-Depot in den Altversatz injiziert. Das Verfüllkonzept und die technische Umsetzung sind in [7] beschrieben.

Inventar

Die 7.464 Gebinde wurden mit Hilfe der liegenden Stapeltechnik auf einer etwa 2 m starken Schicht Salzversatz eingelagert und weisen ein Gebindebruttovolumen von 2.514 m³ auf [3]. Die Gebinde erreichen nicht die Firste (Abb. 5d); die lichte Höhe nach der Einlagerung betrug ca. 2 m.

Es gibt 717 Abfallgebände mit Verlorenen Betonabschirmungen (VBA). Bei etwa 52 % der Gebindemenge handelt es sich um zementierte bzw. betonierte Gebinde [4]. Die räumliche Verteilung dieser Gebinde in der ELK ist nicht dokumentiert.

Die Verteilung des Inventars an relevanten Radionukliden in Gew. % ist im Anhang C aufgeführt. Die hinsichtlich der Aktivität [Bq] bestimmenden Isotope eines Elements sind farbig markiert. Unter Berücksichtigung beider Kriterien befinden sich etwa 98 % des Plutoniums und Americiums sowie mehr als 77 % des Urans in zementierten bzw. betonierten Gebinden und/oder in VBA-Gebinden. Das eingelagerte Ra-226 befindet sich dagegen nur zu 10 % in solchen Gebinden.

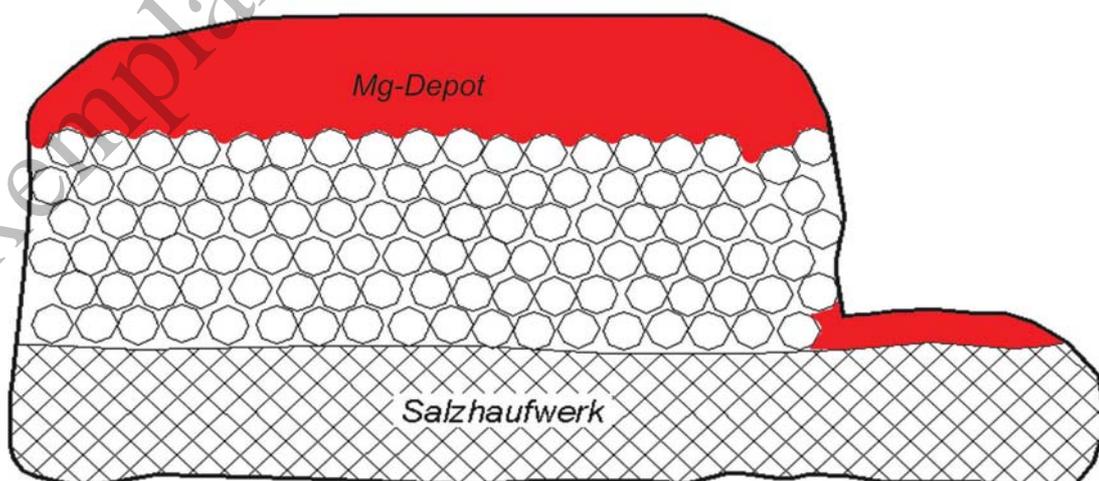


Abb. 5d Schematische Darstellung der Einlagerung und Nachverfüllung in ELK 12/750.

3.5.3 Situation und Verfüllung der Einlagerungskammer 2/750

Die ELK wurde 1917 im Steinsalz aufgefahren. Sie wird im Südwesten durch einen 20 m mächtigen Pfeiler und im Nordosten durch einen 17 m mächtigen Pfeiler von benachbarten Abbauen getrennt (Abb. 5a).

Durch die Pfeiler bestehen Durchhiebe

- zur ELK 12/750 im Südwesten, mit altem Kammerverschluss oder mit Mg-Depot,
- zur ELK 1/750 im Nordosten, mit Mg-Depot oder mit Eigenversatz ggf. mit Sorelmörtel nachinjiziert (Stützversatz).

Nordwestlich befinden sich mit Sorelbeton verfüllte Strecken zwischen Blindschacht 3 und Carnallititbaufeld auf der A-Sohle sowie der Abbau 12 Ost (Abb. 5b). Dieser Bereich des Pfeilers steht fast vollständig im Steinsalz (hellblau). Die Auflockerungszone der ELK 2/750 und die des Carnallititbaufeldes überschneiden sich nicht. Die Strecke zum Carnallititbaufeld im Sohlenniveau der ELK ist mit Eigenversatz verfüllt und wird mit Sorelmörtel (Stützversatz) nachinjiziert.

Südöstlich und unterhalb der ELK bestehen weder Auffahrungen noch Auflockerungszonen bis zum übrigen Grubengebäude.

Verfüllung

Die ELK 2/750 ist mit Abfallgebinden, die auf einer Schicht Eigenversatz gestapelt sind, nicht vollständig aufgefüllt (siehe Abb. 5e). Im Firstbereich der ELK liegen unverfüllte Resthohlräume von 1.644 m^3 vor [3]. Diese werden mit Mg-Depot verfüllt; als integrale Porosität des verfüllten Resthohlraumes wird $47 \pm 5 \%$ angenommen. In den Porenraum der ELK wird Schutzfluid, angereichert mit ca. 5 g Brucit pro Liter Schutzfluid, eingeleitet. Die von der 700-m-Sohle aus gestoßenen Einleitbohrungen sind zu Beginn des Betrachtungszeitraumes nicht verschlossen; dies erfolgt, etwa ein Jahr später, kurz vor der Einleitung des Schutzfluids auf der 700-m-Sohle [2]⁷.

Zu Beginn des Betrachtungszeitraumes ist der initiale Porenraum im Abfallstapel, im Mg-Depot und in den Auflockerungszonen des Wirtsgesteins weitgehend mit Schutzfluid sowie untergeordnet mit Grubenluft gefüllt. Das initiale Lösungsvolumen in der ELK wird durch Verfüllkonzept G bestimmt und durch eine integrale Porosität der kompaktierbaren Melange aus den Kammerinhaltsstoffen abgebildet. Der noch mit Grubenluft gefüllte Teil des initialen Porenraumes beträgt etwa ein Fünftel (27 %) und wird als effektive residuale Gassättigung abgebildet [5].

Unterschiedliche Strömungswiderstände in der ELK werden aufgrund der Zwickelhohlräume zwischen den Gebinden und der hohen Durchlässigkeit von Mg-Depot (Brucit-Granulat [8]) für wenig wahrscheinlich erachtet. Durch die Umsetzung von Brucit zu Sorelphasen können

⁷ Dieses Detail wird im Nachweismodell nicht berücksichtigt.

sich lokal erhöhte Strömungswiderstände im Mg-Depot ausbilden; diese Bereiche des Versatzes werden gebirgsmechanisch beansprucht und weisen ein an Kristallisationsgrenzen orientiertes Rissgefüge auf.

Die Daten für die Geometrie der Grubenbaue und das Abfallvolumen sind in [3] abgeleitet und beschrieben. Das Verfüllkonzept G für die ELK 2/750 ist im Anhang A aufgelistet; die grundsätzliche technische Umsetzung ist in [7] beschrieben.

Inventar

Die 7.450 Gebinde wurden mit Hilfe der liegenden Stapeltechnik auf einer etwa 2 m starken Schicht Salzversatz eingelagert und weisen ein Gebindebruttovolumen von 2.305 m³ auf [3]. Die Gebinde erreichen nicht die Firste (Abb. 5e); die lichte Höhe nach der Einlagerung betrug ca. 2 m.

Es gibt 153 Abfallgebände mit Verlorenen Betonabschirmungen (VBA). Bei etwa 72 % der Gebindemenge handelt es sich um zementierte bzw. betonierte Gebinde [4]. Die räumliche Verteilung dieser Gebinde in der ELK ist nicht dokumentiert.

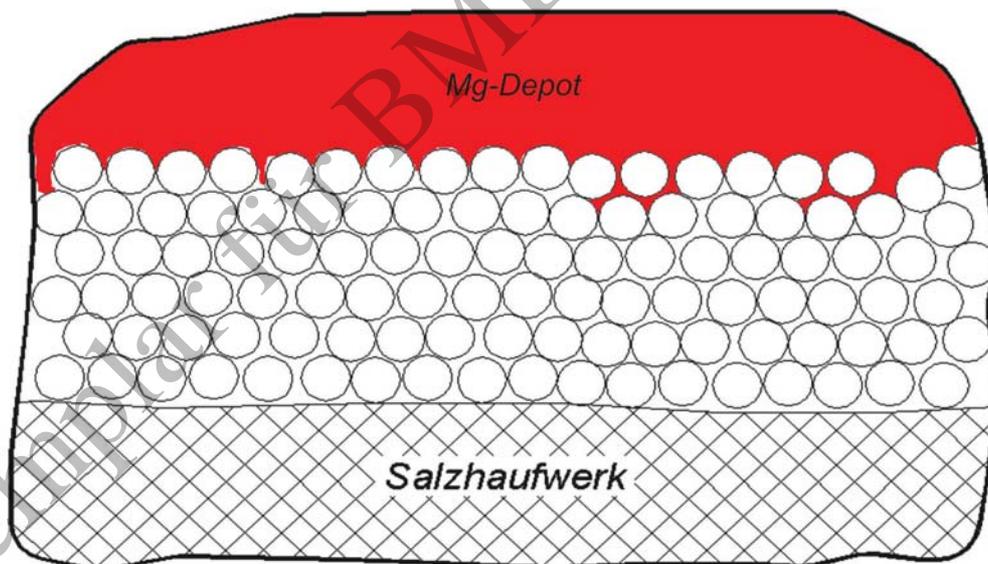


Abb. 5e Schematische Darstellung der Einlagerung und Nachverfüllung in ELK 2/750.

Die Verteilung des Inventars an relevanten Radionukliden in Gew. % ist im Anhang C aufgeführt. Die hinsichtlich der Aktivität [Bq] bestimmenden Isotope eines Elements sind farblich markiert. Unter Berücksichtigung beider Kriterien befinden sich ca. 84 % des Plutoniums und Americiums sowie ca. 94 % des Urans in zementierten bzw. betonierten Gebinden und/oder in VBA-Gebinden. Das eingelagerte Ra-226 befindet sich dagegen nicht in solchen Gebinden.

3.5.4 Situation und Verfüllung der Einlagerungskammer 1/750

Die ELK wurde 1918 im Steinsalz aufgefahren; am nordwestlichen Abbaustoß ist Carnallitit aufgeschlossen. Sie wird im Nordwesten durch einen 10 bis 15 m mächtigen Pfeiler vom Abbau 12 Ost im Carnallititbaufeld und im Südwesten durch einen 20 m mächtigen Pfeiler begrenzt (siehe Abb. 5a). Durch die Pfeiler bestehen Durchhiebe

- zur ELK 2/750 im Südwesten, mit Mg-Depot oder mit Sorelmörtel nachinjiziert (Stützversatz),
- zum Abbau 12 Ost im Carnallititbaufeld, mit Eigenversatz verfüllt und mit Sorelmörtel (Stützversatz) nachinjiziert.

Dieser Bereich des Pfeilers zum Abbau 12 Ost steht im Leine-Steinsalz (Abb. 5b, hellblau) jedoch auch im Carnallitit der Staßfurt-Serie (magenta). Durch zementbeeinflusste Lösung in der ELK 1/750 setzen am Stoß des Pfeilers Umlösungsprozesse ein, die die Durchlässigkeit der Auflockerungszone um die ELK bzw. des gesamten Pfeilers erhöhen können. Zudem wird durch die Auflockerungszone der ELK 12/750 und die des Carnallititbaufeldes die geologische Trennfläche Steinsalz / Carnallitit überstrichen. Um einen kanalisiertem Abfluss aus dem ELB LAW4 zur 700-m-Sohle zu verhindern, wird sowohl das Gesenk nordwestlich von ELK 1/750 (Abb. 5a) als auch die Auffahrungen oberhalb des Pfeilers auf der 700-m-Sohle mit Strömungsbarrieren versehen.

Verfüllung

Die ELK 1/750 ist mit Abfallgebänden, die auf einer Schicht Eigenversatz gestapelt sind, nicht vollständig aufgefüllt (siehe Abb. 5f). Im Firstbereich der ELK liegen unverfüllte Resthohlräume von 2.031 m³ vor [3]. Diese werden mit Mg-Depot verfüllt; als integrale Porosität des verfüllten Resthohlraumes wird $47 \pm 5 \%$ angenommen. In den Porenraum der ELK wird Schutzfluid, angereichert mit ca. 5 g Brucit pro Liter Schutzfluid, eingeleitet. Die von der 700-m-Sohle aus gestoßenen Einleitbohrungen sind zu Beginn des Betrachtungszeitraumes nicht verschlossen; dies erfolgt – etwa ein Jahr später – kurz vor der Einleitung des Schutzfluids auf der 700-m-Sohle [2]⁸.

Zu Beginn des Betrachtungszeitraumes ist der initiale Porenraum im Abfallstapel, im Mg-Depot und in den Auflockerungszonen des Wirtsgesteins weitgehend mit Schutzfluid sowie untergeordnet mit Grubenluft gefüllt. Das initiale Lösungsvolumen in der ELK wird durch Verfüllkonzept G bestimmt und durch eine integrale Porosität der kompaktierbaren Melange aus den Kammerinhaltsstoffen abgebildet. Der noch mit Grubenluft gefüllte Teil des initialen Porenraumes beträgt etwa ein Fünftel (20 %) und wird als effektive residuale Gassättigung abgebildet [5].

⁸ Dieses Detail wird im Nachweismodell nicht berücksichtigt, wodurch die initiale Druckdifferenz an den genannten Strömungsbarrieren überschätzt wird.

Die anfänglich im Porenraum des im Firstbereich verfüllten Mg-Depots gespeicherte Lösung, welche sich im Gleichgewicht mit diesem befindet, wird durch die zum Firstbereich ausgerichtete Lösungsbewegung in der ELK rasch aus dem Porenraum im Mg-Depot verdrängt.

Unterschiedliche Strömungswiderstände in der ELK werden aufgrund der Zwickelhohlräume zwischen den Gebinden und der hohen Durchlässigkeit von Mg-Depot (Brucit-Granulat [8]) für wenig wahrscheinlich erachtet. Durch die Umsetzung von Brucit zu Sorelphasen können sich lokal erhöhte Strömungswiderstände im Mg-Depot ausbilden; diese Bereiche des Versatzes werden gebirgsmechanisch beansprucht und weisen ein an Kristallisationsgrenzen orientiertes Rissgefüge auf.

Ohne Mg-Depots ist in der ELK 1/750 eine Versauerung des geochemischen Milieus nicht auszuschließen [6]. Daher wird der unverfüllte Resthohlraum in der ELK mit Mg-Depot verfüllt und zusätzlich Mg-Depot in den Altversatz im Firstbereich von Abbau 12 Ost injiziert (siehe auch ELK 12/750).

Die Daten für die Geometrie der Grubenbaue und das Abfallvolumen sind in [3] abgeleitet und beschrieben. Das Verfüllkonzept G für die ELK 2/750 ist im Anhang A aufgelistet; die grundsätzliche technische Umsetzung für die ELK 2/750 ist in [7] beschrieben.

Inventar

Die 10.933 Gebinde wurden mit Hilfe der liegenden Stapeltechnik auf einer etwa 2 m starken Schicht Salzversatz eingelagert und weisen ein Gebindebruttovolumen von 2.693 m³ auf [3]. Die Gebinde erreichen nicht die Firste (Abb. 5e); die lichte Höhe nach der Einlagerung betrug ca. 2 m.

Es gibt keine Abfallgebände mit Verlorenen Betonabschirmungen (VBA). Bei etwa 77 % der Gebindemenge handelt es sich um zementierte bzw. betonierte Gebinde [4]. Die räumliche Verteilung dieser Gebinde in der ELK ist nicht dokumentiert.

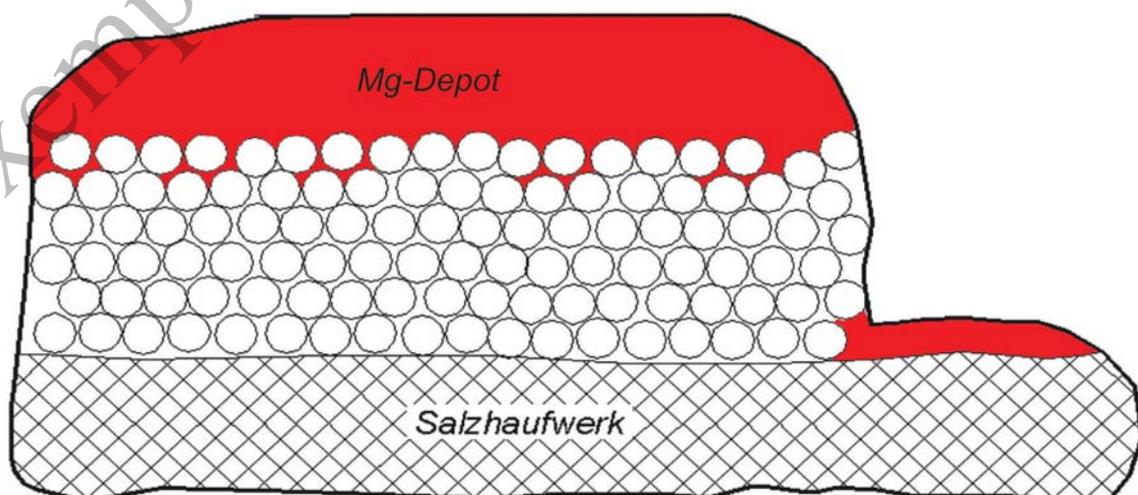


Abb. 5e Schematische Darstellung der Einlagerung und Nachverfüllung in ELK 1/750.

Die Verteilung des Inventars an relevanten Radionukliden in Gew. % ist im Anhang C aufgeführt. Die hinsichtlich der Aktivität [Bq] bestimmenden Isotope eines Elements sind farblich markiert. Unter Berücksichtigung beider Kriterien befinden sich 100 % des Plutoniums, des Americiums und des Urans, aber nur 53 % des eingelagerten Ra-226 in zementierten bzw. betonierten Gebinden.

3.5.5 Verfüllung der Auffahrungen zwischen den Kammern

Die Durchhiebe zwischen den ELK sind mit Eigenversatz verfüllt oder mit einem alten Verschlussbauwerk aus Salzbeton versehen [3]. Der Durchhieb zwischen den ELK 12/750 und 2/750 im Firstniveau wird im Zuge der Resthohlraumverfüllung in den genannten ELK mit Mg-Depot aufgefüllt (Abb. 5a). Der nördliche Durchhieb zwischen den ELK 2/750 und 1/750 wird mit Sorelmörtel injiziert (Abb. 5a). Da kein Nachschnitt der Kontur erfolgt, bleibt der Durchhieb hoch durchlässig.

Der Porenraum des Versatzes und der Auflockerungszonen im Wirtsgestein ist nach dem Einleiten des Schutzfluids weitgehend mit diesem und untergeordnet mit Grubenluft gefüllt. Das Lösungsvolumen in diesen Auffahrungen wird im Strukturmodell für die Transportmodellierungen im Nahfeld (Grubengebäude + Austrittsstelle zum Deckgebirge) [5] dem Anteil des kompaktierbaren Versatzes zugeschlagen und durch die integrale Porosität von Eigenversatz abgebildet. Ein etwas erhöhter Strömungswiderstand in den Auffahrungen wird durch den alten Kammerverschluss – bis der Salzbeton hinreichend korrodiert ist – erwartet.

Daten für die Geometrie der Auffahrungen und deren bereits vorliegende Verfüllung sind in [3] dargestellt. Die technische Umsetzung der Nachverfüllungen ist in [7] beschrieben.

3.6 Einlagerungsbereich MAW

Das Konzept für die Verfüllung im ELB MAW ist auf eine maximal mögliche Reduzierung des Hohlraumes bzw. Behinderung der Konvergenz ausgerichtet, ohne dass das geochemische Milieu negativ beeinflusst wird.

3.6.1 Situation im Einlagerungsbereich

ELB MAW umfasst die ELK 8a/511. Die ELK wurde bis 1962 im Steinsalz aufgefahren und liegt in einer Teufe von 511 m am nördlichen Rand des Grubengebäudes. Sie wird im Süden von einem 12 m starken Pfeiler begrenzt. Durch den Pfeiler besteht eine Durchhieb zum Abbau 8/511 (Abb. 6a), welcher

- nördlich der Strahlenschutzmauer mit Sorelbeton, ausgelegt als Strömungsbarriere,
- südlich der Strahlenschutzmauer mit korrosionsbeständigem Beton [3], ausgelegt als Stützversatz, verfüllt ist.

Der Pfeiler zum westlich gelegenen Abbau 7b/511 beträgt 11 m und ist nicht durchörtert. Nördlich der ELK befinden sich vier von der 490- zur 532-m-Sohle verlaufende Bohrungen, wobei der Abstand mindestens 7 m beträgt. Die Pfeiler um die ELK sind im Kern nur gering aufgelockert und sowohl in querschlägiger als auch in streichender Richtung nur gering durchlässig [9]. Östlich der MAW-Kammer bestehen keine Auffahrungen. Die Pfeiler um die ELK werden als hydraulisch dicht unterstellt.

Die Mächtigkeit der Schweben bis zu den Auffahrungen auf der 490-m-Sohle beträgt ca. 6 m. Die Schweben sind gebirgsmechanisch schwach beansprucht, aber von mehreren Bohrungen durchörtert.

Die Mächtigkeit der Schweben zum darunter liegenden Abbau 8a/532 beträgt auch ca. 6 m. Diese Schweben sind gebirgsmechanisch stärker beansprucht, deshalb aufgelockert und müssen als hydraulisch durchlässig unterstellt werden.

3.6.2 Verfüllung der Einlagerungskammer 8a/511

Verfüllung

Die Einlagerung erfolgte aus der Beschickungskammer 8a auf der 490-m-Sohle durch ein Bohrloch. Die Abfallgebände liegen in Form eines Schüttkegels in der Mitte der ELK und haben keinen Kontakt zu einem Kammerstoß. Die relativ großen Zwickelhohlräume zwischen den Abfallgebänden sind unverfüllt. Es erfolgte keine Zugabe von Salzhautwerk. Etwa 95 % der ELK sind noch unverfüllt [3]. Die Resthohlräume von 5.600 m³ um den Abfallkegel sind zu Beginn des Betrachtungszeitraumes mit Sorelbeton („Sorelbetonglocke“) verfüllt (Abb. 6b); wobei der Abfallkegel vorher mit einer geringmächtigen Schicht Brucit-Granulat abgedeckt wird. Es wird kein Schutzfluid in den Porenraum der ELK gezielt eingeleitet [2].

Aufgrund der Verfüllung der MAW-Kammer mit Sorelbeton („Sorelbetonglocke“) beschränkt sich das Volumen, welches Gas speichern bzw. in welches Lösung eindringen kann, auf die Zwickelhohlräume zwischen den Abfallgebänden. Der Porenraum in der Sorelbetonglocke wird nicht berücksichtigt, da dieser weder transport- noch speicherwirksam ist. Zu Beginn des Betrachtungszeitraumes ist der Porenraum im Abfallkegel und in Auflockerungszonen des Wirtsgesteins weitgehend mit Grubenluft sowie untergeordnet mit Lösung (residuale Lösungssättigung) gefüllt. Dieses Porenvolumen in der ELK wird durch das Verfüllkonzept MAW bestimmt und durch eine integrale Porosität des kompaktierbaren Abfallkegels abgebildet. Durch die Sorelbetonglocke ist das lösungszugängliche Hohlraumvolumen der ELK sehr gering.

Die grundsätzliche technische Umsetzung der Nachverfüllung in der MAW-Kammer ist in [7] beschrieben.

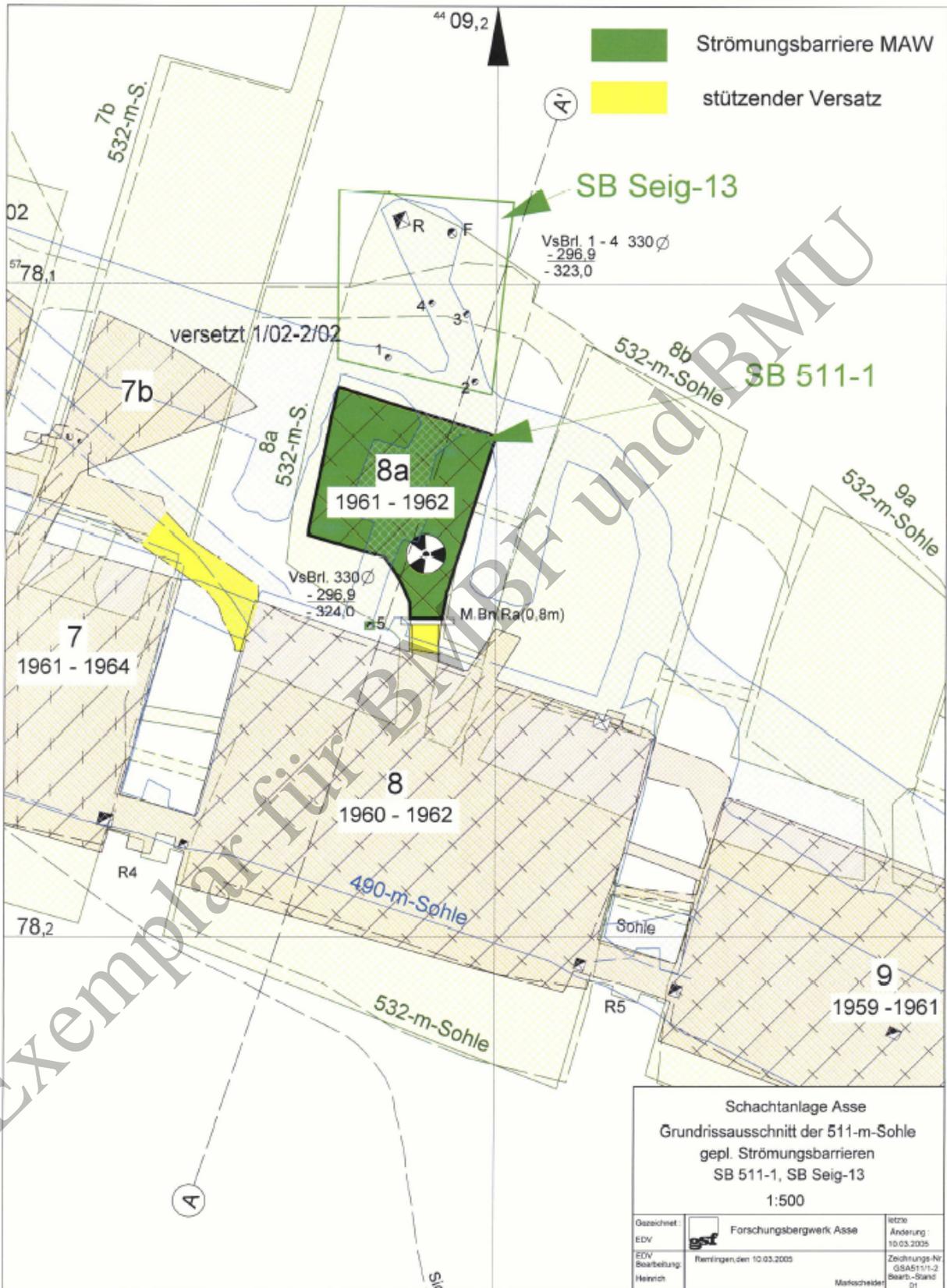


Abb. 6a ELB MAW mit technischen Maßnahmen – Überblendung der Sohlenrisse 532 m, 511 m und 490 m.

Inventar

Die 1.301 Gebinde weisen ein Bruttovolumen von 325 m³ auf [3]. Die Abfallmatrix von 926 Gebinden ist 926 Zement bzw. Beton und von 375 Gebinden dagegen Bitumen [4]. Die räumliche Verteilung dieser Gebinde im Abfallkegel ist nicht dokumentiert.

Etwa 55 % des Plutoniums, mehr als 80 % des Americiums und des Urans sowie mehr als 87 % des eingelagerten Ra-226 befinden sich in zementierten bzw. betonierten Gebinden.

Die Daten für die Geometrie der Grubenbaue und das Abfallvolumen sind in [3] abgeleitet. Das Verfüllkonzept MAW ist im Anhang B aufgelistet. Es geht davon aus, dass Sorelbeton nicht in die Zwickel- und Porenräume des Abfallkegels eindringt.

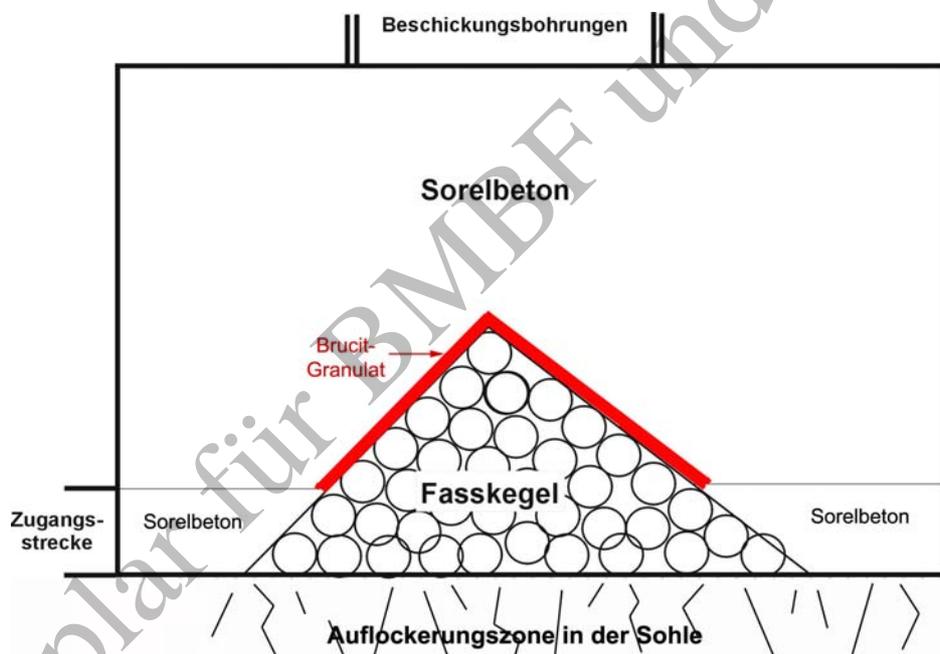


Abb. 6b Schematische Darstellung der Einlagerung und Nachverfüllung in ELK 8a/511.

3.6.3 Verfüllung des Nahbereiches der Einlagerungskammer 8a/511

Die Auffahrungen auf der 490-m-Sohle oberhalb der MAW-Kammer sind vollständig mit Sorelbeton, ausgelegt als Stützversatz, verfüllt (Abb. 6c). Aufgrund dessen ist neben dem Durchhieb zum Abbau 8/511 die aufgelockerte Schwebel zum darunter liegenden Abbau 8a/532 ein potenzieller Zutritts- und Austrittspfad.

Der Abbau 8a/532 und der östlich angrenzende Abbau 8b/532 bilden den Nahbereich der MAW-Kammer. Die beiden Abbaue sind mit Salzversatz verfüllt. In den Setzungsspalt von Abbau 8a/532 wurde Anneliese-Zement mit CaO-Bindemittel eingebracht [3]. Die beiden

Abbaue sind am Südstoß im Sohlenniveau und nahe des Nordstoßes im Firstbereich mit Durchhieben verbunden. Diese sind mit Salzversatz verfüllt. Es wird kein Schutzfluid gezielt in den Nahbereich der MAW-Kammer eingeleitet [2].

Zu Beginn des Betrachtungszeitraumes ist der initiale Porenraum im Versatzkörper und in den Auflockerungszonen im Salzgestein weitgehend mit Grubenluft und untergeordnet mit Lösung gefüllt. Das initiale Porenvolumen wird durch eine integrale Porosität des gesamten kompaktierbaren Versatzkörpers abgebildet. Mit dem Ansteigen des Schutzfluidpegels im Baufeld in der Südflanke dringt Schutzfluid in die Versatzkörper und die Auflockerungszonen ein und verdrängt die Grubenluft.

Daten für die Geometrie der Grubenbaue und deren Verfüllung mit Salzversatz sind dem Risswerk entnommen.



Abb. 6c ELB MAW und Nahbereich mit technischen Maßnahmen – im Vertikalschnitt (Schnittebene A – A', siehe Abb. 6a).

Von den Abbauen 8a/532 und 8b/532 führen Durchhiebe zum Abbau 8/532, welcher zum durchströmten System des Baufeldes in der Südflanke gehört. Die beiden Durchhiebe im Sohlenniveau sind mit Salzversatz verfüllt und damit hoch durchlässig. Der Durchhieb aus dem Abbau 8b/532 im Firstniveau wird mit einer Strömungsbarriere verschlossen (Abb. 6c). Der Abbau 8a/532 weist im Firstniveau keinen Durchhieb zum Abbau 8/532 auf. Die Pfeiler zwischen den Abbauen des Nahbereiches und dem Abbau 8/532 sind im Kern nur geringfügig aufgelockert und deshalb in querschlägiger Richtung nur wenig durchlässig [9].

In die Durchhiebe zwischen Nahbereich und benachbarten Kammern – Abbaue 7b/532 und 9a/532 – werden Strömungsbarrieren eingebaut. Diese Pfeiler sind im Kern höchstens geringfügig aufgelockert und in daher streichender Richtung wenig durchlässig [9]. Die Pfeiler um den gesamten Nahbereich der MAW-Kammer werden als hydraulisch dicht unterstellt.

4. Zusammenfassung

Der Zeitpunkt für den Beginn des Langzeitsicherheitsnachweises für den Standort Asse wird durch das Einleiten von Schutzfluid auf der 725-m-Sohle bestimmt – laut dem vorliegenden Schließungskonzept im Jahr 2009 [1].

Zu dem Zeitpunkt sind die unverfüllten Resthohlräume in den Einlagerungskammern (ELK) und in den Nebenkammern der LAW-Einlagerungsbereiche (ELB) vollständig mit Mg-Depot verfüllt und die Einleitbohrungen verschlossen⁹. Dies dient der Beeinflussung und der langzeitigen Stabilisierung des geochemischen Milieus mit dem Ziel einer möglichst hohen Radionuklid-Rückhaltung.

Die Resthohlräume in der MAW-Kammer sind vollständig mit Sorelbeton verfüllt und die Beschickungsbohrungen verschlossen. Dies dient der weitgehenden Behinderung der Konvergenz.

Daten für die Geometrie der Grubenbaue, das Abfallvolumen und das bei der Einlagerung verstürzte Salzhaufwerk sind abgeleitet [3], die Verfüllkonzept für die ELK sind kammer-spezifisch festgelegt (Anhang A und B) und die grundsätzliche technische Umsetzung der Maßnahmen kammer-spezifisch beschrieben [7].

Der initiale Porenraum im Abfallstapel, im Salzversatz, im Mg-Depot und in den Auflockungszonen des Wirtsgesteins ist weitgehend mit Schutzfluid sowie nur untergeordnet mit Grubenluft (residuale Gassättigung) gefüllt. Die zur Pufferung des geochemischen Milieus notwendigen Mengen Mg-Depot sind entweder in den ELK oder in bzw. vor die unmittelbaren Austrittspfade eingebracht. Signifikant erhöhte Strömungswiderstände in der Melange aus den o. g. Kammerinhaltsstoffen werden für wenig wahrscheinlich erachtet. Die mit Sorelmörtel oder mit Mg-Depot injizierten Anteile eines Versatzkörpers können lokal erhöhte Strömungswiderstände bilden. Die Lösung zirkuliert im Porenraum der Melange durch Lösungsverdrängung infolge Konvergenz, lokaler Gasspeicherung und lokalen Dichteunterschieden weitgehend ungehindert.

Die relevanten eingelagerten Radionukliden, wie die des Plutoniums, des Americiums und des Urans befinden sich überwiegend in zementierten bzw. betonierten Gebinden und / oder in VBA-Gebinden. Das eingelagerte Ra-226 befindet sich dagegen zumeist nicht in solchen Gebinden [4]. Die Mobilisierung des Radionuklid-Inventars verzögert sich entsprechend des

⁹ Ausgenommen sind die Einleitbohrungen in LAW4 - hier etwa ein Jahr später [2].

Korrosionsfortschritts der zementierten bzw. betonierten Abfallmatrizes oder des Schwerbetons der VBA und wird ggf. durch maximal mögliche Elementkonzentrationen (Löslichkeitsgrenzen und/oder Sorptionseffekte) in den ELK begrenzt.

Die im Porenraum von im Firstbereich eingebrachten Mg-Depots gespeicherte Lösung wird durch die sofort nach der Einleitung einsetzende, nach oben hin ausgerichtete Lösungsbe-
wegung in der ELK rasch aus dem Porenraum verdrängt. Stabile Dichteschichtungen in der ELK sind in der frühen Nachbetriebsphase wenig wahrscheinlich.

Die geplanten technischen Maßnahmen in den Durchhieben zwischen den ELK eines ELB und im unmittelbaren Nahbereich eines ELB sind entsprechend dem Schließungskonzept [1] umgesetzt.

Exemplar für BMBF und BMU

5. Literaturverzeichnis

- [1] GSF, Forschungsbergwerk Asse: Herleitung und Beschreibung des Konzeptes zur Schließung der Schachanlage Asse, Rev. 04, Bericht zum Projekt Langzeitsicherheit; Stand: Juli 2005.
- [2] GSF, Forschungsbergwerk Asse: Schutzfluidkonzept, Rev. 01, Bericht zum Projekt Langzeitsicherheit, Stand: Juli 2005.
- [3] GSF, Forschungsbergwerk Asse: Beschreibung der Lagerbereiche der Abfälle. Rev. 02, Bericht der GSF zum Projekt Langzeitsicherheit, Stand: Juli 2005.
- [4] GSF, Forschungsbergwerk Asse: Bestimmung des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars der Schachanlage Asse, Bericht der GSF zum Projekt Langzeitsicherheit, Stand: August 2002.
- [5] NRG, Colenco, GRS Braunschweig: Fluid- und Radionuklidtransport am Standort Asse (ALSA-C), Rev. 00, Bericht zum Projekt Langzeitsicherheit, Stand: 27.07.2005.
- [6] FZK-INE: Experimentelles Programm zur Bestätigung der Ergebnisse von standortspezifischen Modellrechnungen für die Schachanlage Asse. Teil 12: Geochemische Modellrechnungen zu Einlagerungskammern der Schachanlage Asse ohne Mg-Depot auf Grundlage einer reduzierten Bildung von anorganischem Kohlenstoff, Abschlussbericht FZK-INE 002/04, Stand: März 2005.
- [7] GSF, Forschungsbergwerk Asse: Technisches Konzept zum Einbringen des Mg-Depots in die Einlagerungskammern und ihren Nahbereich, Rev. 00, Ergänzungsbericht zum Projekt Langzeitsicherheit, Stand: März 2006.
- [8] IfG: Ergebnisbericht zum Kompaktionsverhalten und den mechanischen Eigenschaften von Brucit-Granulat, Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig, 2005.
- [9] GSF, Forschungsbergwerk Asse: Ergebnisse gebirgsmechanischer Rechnungen im Bereich der Nebenabbaue auf der 532-m-Sohle, Arbeitsbericht des Teilbereiches Standortüberwachung Nr. 5/05, März 2005

Anhang A - Verfüllkonzept G

Arbeitsunterlage für die geochemische Milieustudie in den Einlagerungskammern

Verfüllkonzeption für die Einlagerungskammern der 750-m und
725-m Sohle für den Fall der Beeinflussung des geochemi-
schen Milieus durch Brucit
(Verfüllkonzept G)

Verfasser:

B. Förster
G. Marggraf

Stand: 21.04.2005

1. Einleitung

Das Sicherheitskonzept für die Schließung der Schachtanlage Asse [1] beschreibt die gezielte Einstellung eines geochemischen Milieus, das relativ niedrige Löslichkeitsgrenzen der Radionuklide aus den Abfallgebänden erzeugt und die damit verbundene Schadstoffrückhaltung als einen der wichtigen Effekte, den gefahrlosen Abschluss der eingelagerten Abfälle von der Biosphäre zu gewährleisten. Berechnungen zur Wirksamkeit dieses Effektes haben gezeigt, dass das Einbringen von MgO/Mg(OH)₂-reichen Versatzstoffen (im Folgenden: Mg-Depots) zur Beeinflussung des geochemischen Milieus in den Einlagerungskammern die Freisetzung von Schadstoffen deutlich verringern kann [2]. Als Mg-Depot wird ein Brucit-Granulat der Fa. K-UTECH in Kombination mit der Beimengung von Brucit (Annahme: 5 g/L) zum Schutzfluid favorisiert. Die Suspension von Brucit in Schutzfluid wird zur Flutung der LAW-Einlagerungskammern und den Nahbereich (775-m- bis 700-m-Sohle) eingesetzt.

Das Brucit-Granulat besteht zu 80 – 86 % aus Brucit, wobei davon etwa 20 – 30 % in so-reilgebundener Form vorliegen [11]. Die mittlere Korngröße des zur Anwendung kommenden Granulats beträgt 3 mm, die Schüttoposität ca. 47 % und die Reindichte der Granalien 2,286 g/cm³ [12]. Dieses Granulat verfügt zudem über eine Stützwirkung, die mit der von Salzgrus-Versatz verglichen werden kann. Damit erreicht es zwar nicht die Stützwirkung von z.B. So-reilbeton, führt jedoch zu vergleichsweise hohen verfügbaren Lösungsvolumina in den Einlagerungskammern und damit zu günstigen Verhältnissen von Zementmenge / Lösungsvolumen. Die Auswirkungen auf das geochemische Milieu sind abzuschätzen.

Unter der Bedingung, dass die Einlagerungskammern als jeweils quasi-geschlossenes System betrachtet werden können, ist mit Hilfe des Mg-Depots von einer günstigen Beeinflussung des geochemischen Milieus (und dadurch von einer Minimierung der Löslichkeiten) und einem Sorptionspotential von korrodiertem Zement auszugehen. Diese Bedingung soll durch Strömungsbarrieren in den söhligen Zugängen der Einlagerungsbereiche gewährleistet werden¹⁰.

2. Aufgabenstellung

In den Einlagerungskammern gibt es sowohl unverfüllte Hohlräume für zusätzliches Versatzmaterial als auch Zwickelhohlräume zwischen den Abfallgebänden sowie Porenräume in den Abfallgebänden und im Salzgrus. Die zum Zeitpunkt des Schutzfluideintritts in den Einlagerungskammern vorhandenen spezifischen Resthohlräume sind unter Berücksichtigung dieser Volumina und der kammer-spezifischen Volumenkonvergenzraten abgeschätzt worden [3], [5].

Den Berechnungen der kammer-spezifischen geochemischen Milieus ist (unter Berücksichtigung der in [13] vorgegebenen kammer-spezifischen, pessimistischen Mengen an CO₂

¹⁰ Dieses entspricht dem Fall C (Fallstudie der orientierenden Transportmodellierungen), der als technische Maßnahmen im Nahbereich den Bau von Strömungsbarrieren und das Einbringen von Mg-Depots vorsieht.

nach [8], [10]) ein definiertes Verfüllkonzept, im Folgenden als Verfüllkonzept G (Verfüllung der verfügbaren Resthohlräume mit Brucit-Granulat) bezeichnet, zugrunde zu legen.

Folgende Festlegungen werden vorausgesetzt:

1. *Schließungskonzept [1]*
2. *spezifische Hohlraumabschätzungen der Einlagerungskammern [5]*
3. *Prognose der jährlichen Volumenkonvergenzraten in % [3]*
4. *Abschätzung des stofflichen Inventars [6]*
5. *Definition der Einlagerungsbereiche [4]*

3. Inhalt

Das Verfüllkonzept G geht davon aus, dass der gesamte unverfüllte Hohlraum für zusätzliches Versatzmaterial einer Einlagerungskammer mit Brucit-Granulat verfüllt wird¹¹.

Das Verfüllkonzept G geht weiterhin davon aus, dass das Brucit-Granulat nicht in die Zwickel- und Porenräume des Abfalls und Salzgruses eindringt, es stehen daher nur die unverfüllten Hohlräume für zusätzliches Versatzmaterial zum Einbringen des Brucit-Granulats in die Einlagerungskammern zur Verfügung. Hierdurch ändert sich der Resthohlraum bzw. das initiale Lösungsvolumen in der Kammer. Dagegen kann dem Schutzfluid zugegebener Brucit (5 g/L) ohne weiteres in die Zwickel- und Porenräume des Abfalls und Salzgruses eindringen. Der Resthohlraum in der Kammer ändert sich hierdurch nicht.

Die derzeit bestehenden Hohlräume für zusätzliche Versatzmaterialien sowie die eingebrachten Volumina Brucit-Granulat sind in Tabelle 1a angegeben, die sich aus Verfüllkonzept G ergebenden kammer-spezifischen Resthohlräume sowie die berechneten initialen Lösungsvolumina in Tabelle 1b.

In den Kammern 6/750, 7/750, 8/750, 10/750 und 2/750 i. Na2 ist derzeit kein unverfüllter Hohlraum für zusätzliches Versatzmaterial vorhanden, der Brucit-Granulat aufnehmen könnte. Von diesen Kammern verfügen lediglich 8/750, 10/750 und 2/750 i. Na2 über ein hohes Versauerungspotential. Es ist jedoch im Fall der Kammern 8/750 und 10/750 technisch möglich, ausreichend Brucit-Granulat in die Kammern einzubringen. Die Einbringung erfolgt derart, dass sich das initiale Lösungsvolumen gemäß Tabelle 1b nicht signifikant verändert. Abweichungen liegen weit unterhalb der in [9] genannten Fehlerbandbreiten für die Lösungsvolumina. Daher wird auf eine gesonderte Berechnung der Lösungsvolumina im Folgenden verzichtet. Die Angabe der Mengen an Brucit-Granulat erfolgt lediglich in Tonnen. Für Kammer 2/750 i. Na2 ist keine technische Möglichkeit gegeben, Brucit-Granulat zuzusetzen.

In den Kammern 1/750, 2/750, 4/750, 5/750, 11/750, 12/750 und 7/725 i. Na2 ist ausreichend unverfüllter Hohlraum für zusätzliches Versatzmaterial verfügbar, dieser Hohlraum wird vollständig mit Brucit-Granulat aufgefüllt.

¹¹ Sind die unverfüllten Hohlräume für zusätzliches Versatzmaterial in einer Kammer unterschätzt, wird zusätzlich Sorelbeton A1 in die Kammer eingebracht, um das sich aus Verfüllkonzept G ergebende initiale Lösungsvolumen zu gewährleisten. Dies ist bei den geochemischen Modellrechnungen zunächst nicht zu berücksichtigen. Sind die unverfüllten Hohlräume für zusätzliches Versatzmaterial in einer Kammer überschätzt, werden die in Verfüllkonzept G angegebenen Mengen Brucit-Granulat in die Transportwege eingebracht.

Im Verfüllkonzept G resultiert das für Lösung verfügbare Volumen ($V_{\text{Lösung}}$) zum einen aus dem Volumen des in Tabelle 1b angegebenen luffertüllten Resthohlraums in der Kammer ($V_{\text{Resthohlraum}}$) abzüglich dem Volumen des eingebrachten Brucit-Granulats ($V_{\text{Brucit-Granulat}}$) und zum anderen aus dem Porenvolumen des eingebrachten Brucit-Granulats [siehe Gleichung (1) und (2)]. Das Porenvolumen des Brucit-Granulats ist gleich dem Produkt von Volumen des Brucit-Granulats und Schüttporosität des Brucit-Granulats ($X_{\text{Brucit-Granulat}} = 47 \% \pm 5 \%$).

Gln. (1) Verfüllkonzept G für die Kammern 7/725Na2, 4/750, 5/750, 11/750, 12/750, 1/750 und 2/750Na3:

$$V_{\text{Lösung}} = (V_{\text{Resthohlraum}} - V_{\text{Brucit-Granulat}}) + V_{\text{Brucit-Granulat}} * X_{\text{Brucit-Granulat}}$$

Gln. (2) Verfüllkonzept G für die Kammern 6/750, 7/750, 8/750, 10/750 und 2/750Na2:

$$V_{\text{Lösung}} = V_{\text{Resthohlraum}}$$

Tabelle 1a Kammerspezifische Hohlraumvolumina für zusätzliches Versatzmaterial und in Hohlraum für zusätzliches Versatzmaterial eingebrachte Volumina Brucit-Granulat.

Einlagerungsbereich	Einlagerungskammer	Hohlraum für zusätzliches Versatzmaterial im Jahr 2009 [3], [5] ($V_{\text{Hohlraum-Versatz}}$) [m ³]	In Hohlraum für zusätzliches Versatzmaterial eingebrachtes Brucit-Granulat ($V_{\text{Brucit-Granulat}}$) [m ³]
LAW1A	2/750 Na2	0	0
LAW1B	7/725 Na2	1837	1837
LAW2	4/750 Na3	2804	2804
	8/750 Na3	0	[728 t]
	10/750 Na3	0	[624 t]
LAW3	5/750 Na3	309	309
	6/750 Na3	0	0
	7/750 Na3	0	0
	11/750 Na3	967	967
LAW4	12/750 Na3	3191	3191
	1/750 Na3	2031	2031
	2/750 Na3	1644	1644

In den Porenraum der Einlagerungskammern 4/750 und 11/750 werden zur gebirgsmechanisch notwendigen Stabilisierung der Pfeiler ca. 43 bzw. 50 m³ Sorelbeton A1 injiziert. Diese Mengen Sorelbeton A1 entsprechen im Fall der Kammer 4/750 rund 2,2 %, im Fall der Kammer 11/750 ca. 1,6 % des verfügbaren Lösungsvolumens und liegen weit unterhalb der in [9] genannten Fehlerbandbreiten für die Lösungsvolumina. Das Vorhandensein des Sorelbetons A1 ist ggf. geochemisch (wenn geochemisch wirksam) zu berücksichtigen, wird bei der Bestimmung der Lösungsvolumina in [9] jedoch vernachlässigt.

4. Festlegungen

Für die kammer-spezifischen Modellierungen des geochemischen Milieus unter Berücksichtigung der in [13] vorgegebenen kammer-spezifischen, pessimistischen Mengen an anorganischem Kohlenstoff (TIC) werden Modellierungen für das Verfüllkonzept G durchgeführt. Die Arbeitsgrundlage für diese Modellierungen ist in [9] gegeben.

Tabelle 1b Kammer-spezifischer Resthohlraum im Jahr 2009 und in den Einlagerungskammern verfügbare Lösungsvolumina für Verfüllkonzept G.

Einlagerungs- bereich	Einlagerungskammer	Resthohlraum in der Kammer im Jahr 2009 ($V_{\text{Resthohlraum}}$) [m ³]	Lösungsvolumina Ver- füllkonzept G im Jahr 2009 ($V_{\text{Lösung}}$) [m ³]
LAW1A	2/750 Na2	7998	7998
LAW1B	7/725 Na2	6997	6023
LAW2	4/750 Na3	3410	1924
	8/750 Na3	3430	3430
	10/750 Na3	3919	3919
LAW3	5/750 Na3	5301	5137
	6/750 Na3	4595	4595
	7/750 Na3	5810	5810
	11/750 Na3	3719	3206
LAW4	12/750 Na3	3681	1990
	1/750 Na3	2492	1416
	2/750 Na3	1967	1096

Die Berechnungen gelten nur für den Fall, dass als technische Maßnahmen zur Gewährleistung der Langzeitsicherheit der Schachanlage Asse ein Schutzfluid in das Bergwerk eingeleitet, Strömungsbarrieren gebaut und Mg-Depots in die Einlagerungskammern bzw. -bereiche eingebracht werden (Fall C der Fallstudie der orientierenden Transportmodellierungen). Für das Verfüllkonzept G gilt eine vollständige Verfügbarkeit des Mg-Depots für Lösungen.

5. Weiteres Vorgehen

Auf Grundlage der Daten in [9] werden die kammer-spezifischen Milieuentwicklungen modelliert. Dieses bildet die Voraussetzung für die Ermittlung der Elementlöslichkeiten bzw. der maximalen Elementkonzentrationen und die Belastung der Verteilungskoeffizienten vom Sorptionspotential an korrodiertem Zement.

Literatur

- [1] Eikmeier, V., Förster, B., Hensel, G., Kappei, G., Stockmann, N., Teichmann, L., 2004. Herleitung und Beschreibung des Konzepts zur Schließung der Schachtanlage Asse (Revision 03), GSF-FB Asse, Remlingen, Stand: 15.10.2004.
- [2] Metz, V., Kienzler, B., Altmaier, M., Lützenkirchen, J., Korthaus, E., 2004. Experimentelles Programm zur Bestätigung der Ergebnisse von standortspezifischen Modellrechnungen für die Schachtanlage Asse: Geochemische Modellrechnungen für die Schachtanlage Asse - Überprüfung der Methodik mittels experimenteller Ergebnisse, Zusammenfassender Abschlussbericht, FZK-INE, Bericht FZK-INE 001/04, Karlsruhe, Stand 04/2004.
- [3] Prognose der Volumenkonvergenzraten in % / Jahr auf Grundlage der Standortdaten und der IfG-Daten vom Memorandum 07/2003, Stand: 12/2003 – siehe Parameterdatenbank des FB Asse.
- [4] Förster, B., Teichmann, L., Poppei, J., 2004. Strukturmodell D4 für die Abbildung der hydraulischen Wegsamkeiten im Nahfeld des Standortes Asse (Revision 02), GSF-FB Asse, Remlingen, Stand 02/2004.
- [5] Heydorn, M., Hensel, G., Bracke, G., 2002. Beschreibung der Lagerbereiche der Abfälle (Revision 01), GSF-FB Asse, Remlingen, Stand 09/2002.
- [6] Buchheim B., Meyer, H., Tholen, M., 2004. Bestimmung des Inventars an chemischen und chemo-toxischen Stoffe in den eingelagerten radioaktiven Abfällen der Schachtanlage Asse, GSF-FB Asse, Remlingen, Stand 03/2004.
- [7] Hensel, G., Teichmann, L., 2003. Ermittlung des Volumens der Resthohlräume für das Einbringen eines Schutzfluids (Revision 02), GSF-FB Asse, Remlingen, Stand 05/2003.
- [8] Bracke, G., Müller, W., 2004. Gasbildung in der Schachtanlage Asse, ISTec GmbH, Bericht ISTec-A-849, Stand 04/2004.
- [9] Förster, B., Marggraf, G., 2005. Stoffliches Inventar der in der Schachtanlage Asse eingelagerten Abfallgebände und spezifische Daten der Einlagerungskammern mit Berücksichtigung der Resthohlräume: Verfüllkonzept G, Microsoft-Excel-Datei \Milieu_Stand_21.04.05_G.xls\ , GSF-FB Asse, Remlingen, Stand 21.04.2005.
- [10] Bracke, G., Müller, W., 2005. Abbaubarkeit von organischem Kohlenstoff unter salinaren Bedingungen – Darstellung der stöchiometrischen Berechnung einer pessimistischen, kammerspezifischen CO₂-Bildung, ISTec GmbH, Stand 02/2005.
- [11] Krauke, K., 2002. Kennwerte Mg-Depot-Granulat, Fax vom 07.11.2002, K-UTEC, Sondershausen.
- [12] Krauke, K., 2004. Kenndaten Brucit-Depotgranulat, Anlage Brucit-Granulate Zusammenstellung, Fax vom 07.01.2004, K-UTEC, Sondershausen.

- [13] Marggraf, G., 2005. Arbeitsunterlage für die geochemische Milieustudie in den Einlagerungskammern – Kammerspezifische CO₂-Bildung, GSF-FB Asse, Remlingen, Stand 20.04.2005.

Exemplar für BMBF und BMU

Anhang B - Verfüllkonzept MAW

Arbeitsunterlage für die geochemische Milieustudie in den Einlagerungskammern

Verfüllkonzeption für die Einlagerungskammer
8a/511 (MAW)

Verfasser:

B. Förster
G. Marggraf
L. Teichmann (DBE Tec)

Stand: 20.04.2005

1. Einleitung

Das Sicherheitskonzept für die Schließung der Schachtanlage Asse [1] beschreibt die gezielte Einstellung eines geochemischen Milieus, das relativ niedrige Löslichkeitsgrenzen der Radionuklide aus den Abfallgebinden erzeugt und die damit verbundene Schadstoffrückhaltung als einen der wichtigen Effekte, den gefahrlosen Abschluss der eingelagerten Abfälle von der Biosphäre zu gewährleisten.

Der unverfüllte Resthohlraum der Einlagerungskammer ist zur Behinderung der Konvergenz, als ein Motor der Lösungsauspressung aus der Kammer, zu verfüllen. Das Versatzmaterial darf das geochemische Milieu in der Kammer nicht negativ beeinflussen. Ein solches Versatzmaterial ist Sorelbeton. Der Sorelbeton weist eine hohe Stützwirkung auf und ist technisch vergleichsweise einfach handhabbar. Jedoch verringert dieser aufgrund seiner geringen Durchlässigkeit deutlich das verfügbare, chemisch wirksame Lösungsvolumen in der Einlagerungskammer. Die Auswirkungen des dadurch signifikant erhöhten Verhältnisses Zementmenge/Lösungsvolumen auf das geochemische Milieu sind noch zu bestimmen.

Eine Grundvoraussetzung für die Berechnung des geochemischen Milieus ist, dass die MAW-Einlagerungskammer als quasi-geschlossenes System betrachtet werden kann. Diese Bedingung wird durch die Sorelbeton-Glocke um den Fasskegel der Abfallbinde, der den söglichen Zugang der Einlagerungskammer strömungswirksam verschließt, gewährleistet.

2. Aufgabenstellung

In der MAW-Einlagerungskammer gibt es sowohl unverfüllte Hohlräume für zusätzliches Versatzmaterial als auch Zwickelhohlräume zwischen den Abfallgebinden sowie Porenräume in den Abfallgebinden. Letztere sind jedoch vernachlässigbar gering. Die in der Einlagerungskammer vorhandenen spezifischen Resthohlräume sind unter Berücksichtigung dieser Volumina und der kammer-spezifischen Volumenkonvergenzraten abgeschätzt worden [2], [4].

Folgende Festlegungen werden vorausgesetzt:

1. *Schließungskonzept [1]*
2. *spezifische Hohlraumabschätzungen der Einlagerungskammern [4]*
3. *Prognose der jährlichen Volumenkonvergenzraten in % [2]*
4. *Abschätzung des stofflichen Inventars [5]*
5. *Definition der Einlagerungsbereiche [3]*

3. Inhalt

Das Verfüllkonzept MAW geht davon aus, dass der gesamte unverfüllte Hohlraum für zusätzliches Versatzmaterial der Einlagerungskammer mit Sorelbeton verfüllt wird (Abbildung 1). Dies ist nach derzeitigen Erkenntnissen erforderlich, um eine möglichst hohe, der Konvergenz entgegengewirkende Stützwirkung zu erzielen.

Es wird angenommen, dass die MAW-Kammer im Jahr 2009 mit Sorelbeton verfüllt wird. Aufgrund der Sorelbetonverfüllung ab 2009 findet ab diesem Zeitpunkt bis zum unterstellten Zutreten von Schutzfluid keine weitere Konvergenz in der Kammer statt.

Das Verfüllkonzept MAW geht weiterhin davon aus, dass der Sorelbeton nicht in die Zwickel- und Porenräume des Abfalls eindringt. Dies soll dadurch gewährleistet werden, dass die Oberfläche des Fasskegels mit Brucit-Granulat ausgeglichen wird. Da die Menge des Brucit-Granulates nur schwer bilanzierbar ist, wird dieses bei den geochemischen Modellrechnungen nicht berücksichtigt.

Der Sorelbeton füllt also nur die unverfüllten Hohlräume für zusätzliches Versatzmaterial aus. Hierdurch ändert sich der Resthohlraum in der Einlagerungskammer.

Damit geochemische Modellrechnungen zur Bestimmung eines möglichen Radionuklid-Quellterms für die MAW-Kammer möglich sind, wird angenommen, dass der nach der Sorelbeton-Verfüllung verbleibende Hohlraum in 8a/511 mit Schutzfluid gefüllt wird. Diese Annahme entspricht der Szenariengruppe LSG MAW (Lösung in MAW).

Aufgrund der sehr geringen Durchlässigkeit des Sorelbetons, wird davon ausgegangen, dass dessen Porenvolumina nicht oder vernachlässigbar gering durch das Schutzfluid aufgefüllt werden können bzw. die dem effektiven Porenraum des Sorelbetons zugetretenen Lösungen chemische Reaktionen im Fasskegel der Abfallgebände nicht signifikant beeinflussen.

4. Ermittlung des verfügbaren Lösungsvolumens

Durchmesser des Fasskegels (d):	16,5 m
Radius des Fasskegels (r):	8,25 m
Höhe des Fasskegels (h):	6,5 m
Seitenlänge des Fasskegels (s):	10,5 m ($s^2 = r^2 + h^2$)
Volumen des Fasskegels:	$V_F = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot h = 463 \text{ m}^3$
Oberfläche des Fasskegels:	$A_M = \pi \cdot r \cdot s = 272,14 \text{ m}^2$
Grundfläche des Fasskegels:	$A_G = \pi \cdot r^2 = 213,82 \text{ m}^2$
Gebindebruttovolumen im Fasskegel:	$V_{GB} = 325 \text{ m}^3$
Hohlraum zwischen den Gebänden ($V_{\text{Gebindehohlraum}}$):	$V_F - V_{GB} = 138 \text{ m}^3$
Volumen Mg-Depot in der Kammer:	0 m ³
Geschätztes Kammerleervolumen 2009:	5978 m ³
Resthohlraum (Luft) in der Kammer 2009:	5578 m ³
abzüglich Hohlraum zwischen den Gebänden:	5440 m ³
Volumen Sorelbeton A1 in der Kammer:	5440 m ³

Berechnung des verfügbaren Lösungsvolumens der Kammer 8a/511:

$$V_{\text{Lösung-MAW}} = V_{\text{Gebindehohlraum}}$$

$$\text{Verfügbares Lösungsvolumen (} V_{\text{Lösung-MAW}} \text{):} \quad 138 \text{ m}^3 \quad (\pm 20 \%)$$

Im Verfüllkonzept MAW resultiert das für Lösung verfügbare Volumen ($V_{\text{Lösung-MAW}}$) aus dem Hohlraum zwischen den Gebänden ($V_{\text{Gebindehohlraum}}$).

Infolge der Lösungsverdrängung durch die in [6] bilanzierte Gasbildung kann das Lösungsvolumen im Fasskegel bis auf die residuale Lösungssättigung im Porenraum abnehmen, bevor die maximal möglichen Mengen Zement umgesetzt werden.

5. Festlegungen

Für die kammer-spezifischen Modellierungen des geochemischen Milieus in 8a/511 (MAW) unter Berücksichtigung der in [8] und [9] angegebenen Menge an anorganischem Kohlenstoff (TIC) nach [6] und [7] werden Modellierungen für das Verfüllkonzept MAW durchgeführt. Es wird davon ausgegangen, dass maximal 40% des organischen Inventars langfristig zu TIC umgesetzt werden.

Die Berechnungen gelten nur für den Fall, dass als technische Maßnahmen zur Gewährleistung der Langzeitsicherheit der Schachtanlage Asse ein Schutzfluid in das Bergwerk eingeleitet und Strömungsbarrieren gebaut werden.

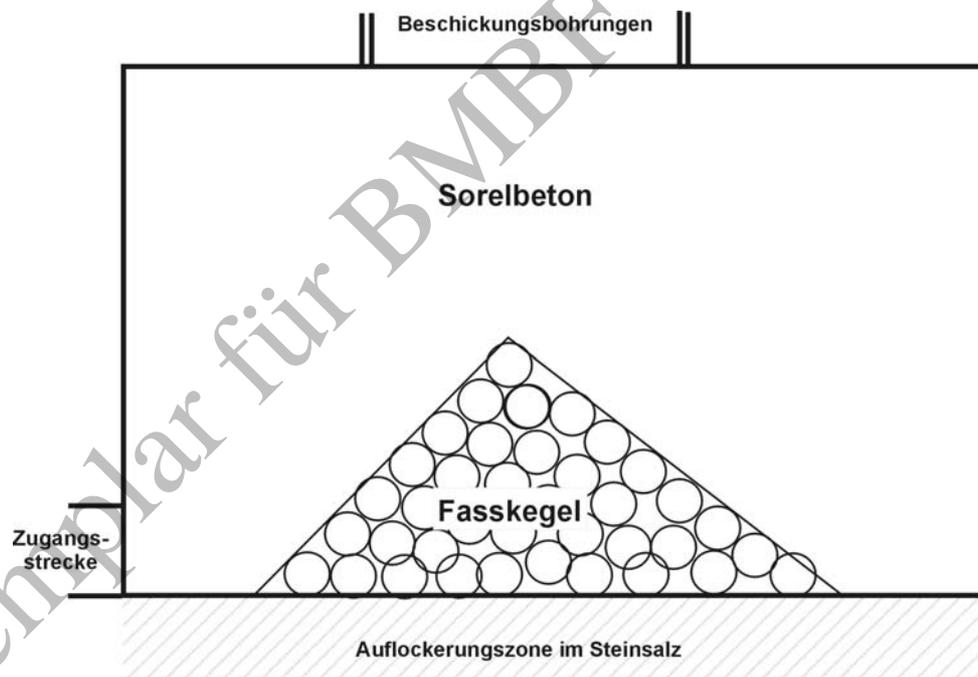


Abbildung 1: Darstellung der Verfüllung MAW (skizziert).

Literatur

- [1] Eikmeier, V., Förster, B., Hensel, G., Kappei, G., Stockmann, N., Teichmann, L., 2004. Herleitung und Beschreibung des Konzepts zur Schließung der Schachtanlage Asse (Revision 03), GSF-FB Asse, Remlingen, Stand: 15.10.2004.
- [2] Prognose der Volumenkonvergenzraten in % / Jahr auf Grundlage der Standortdaten und der IfG-Daten vom Memorandum 07/2003, Stand: Dezember 2003 – siehe Parameterdatenbank des FB Asse.
- [3] Geometrische Abstrahierung der hydraulischen Wegsamkeiten im Grubengebäude des Standortes – Detailliertes Strukturmodell (D-Modell), GSF-FB Asse, Informationsunterlage (Revision 00), Stand 06/2002.
- [4] Heydorn, M., Hensel, G., Bracke, G., 2002. Beschreibung der Lagerbereiche der Abfälle (Revision 01), GSF-FB Asse, Remlingen, Stand 09/2002.
- [5] Buchheim B., Meyer, H., Tholen, M., 2004. Bestimmung des Inventars an chemischen und chemo-toxischen Stoffe in den eingelagerten radioaktiven Abfällen der Schachtanlage Asse, GSF-FB Asse, Remlingen, Stand 03/2004.
- [6] Bracke, G., Müller, W., 2004. Gasbildung in der Schachtanlage Asse, ISTec GmbH, Bericht ISTec-A-849, Stand 04/2004.
- [7] Bracke, G., Müller, W., 2005. Abbaubarkeit von organischem Kohlenstoff unter salinaren Bedingungen – Darstellung der stöchiometrischen Berechnung einer pessimistischen, kammerspezifischen CO₂-Bildung, ISTec GmbH, Stand 02/2005.
- [8] Marggraf, G., 2005. Arbeitsunterlage für die geochemische Milieustudie in den Einlagerungskammern – Kammerspezifische CO₂-Bildung, GSF-FB Asse, Remlingen, Stand 20.04.2005.
- [9] Förster, B., Marggraf, G., 2004. Stoffliches Inventar der in der Schachtanlage Asse eingelagerten Abfallgebände und spezifische Daten der Einlagerungskammern mit Berücksichtigung der Resthohlräume: Verfüllkonzept MAW, Microsoft-Excel-Datei \Milieu_Stand_10.02.05_MAW.xls\ , GSF-FB Asse, Remlingen, Stand 02/2005.

Anhang C - Verteilung des Inventars an dosisrelevanten Isotopen

Tab. C1: Verteilung dosisrelevanter Radionuklide in ELK 2/750Na2 [Gew. %] des LAW 1A.

Einlagerungskammer		2/750 i. Na2			
Stoffmenge Calcium	[mol]	2,70E+07			
Stoffmenge Kohlenstoff	[mol]	7,53E+07			
Stoffmenge Kohlenstoff zu TIC umgesetzt	[mol]	3,01E+07			
Differenz Calcium - Kohlenstoff		-3,17E+06			
Stoffmenge Eisen	[mol]	1,17E+08			
Verteilung auf VBA / nVBA		VBA		nVBA	
Stoffmenge Calcium	[mol]			2,70E+07	
Stoffmenge Kohlenstoff	[mol]			7,53E+07	
Stoffmenge Kohlenstoff zu TIC umgesetzt	[mol]			3,01E+07	
Differenz Calcium - Kohlenstoff				-3,17E+06	
Stoffmenge Eisen	[mol]			1,17E+08	
Unterteilung zementiert / nicht zementiert		zementiert	nicht zem.	zementiert	nicht zem.
Pu-238				99%	1%
Pu-239				99%	1%
Pu-240				100%	0%
Pu-241				100%	0%
Pu-242				100%	0%
Pu-244				100%	0%
Am-241				94%	6%
Am-242m				61%	39%
Am-243				60%	40%
U-232				88%	12%
U-234				99%	1%
U-235				98%	2%
U-236				88%	12%
U-238				99%	1%
Np-237				61%	39%
Ra-226				47%	53%
Ra-228				0%	100%
Tc-99				1%	99%
Sr-90				82%	18%
Cs-135				56%	44%
Cs-137				81%	19%
Σ Kohlenstoff (TIC)	[mol]			2,88E+06	2,46E+07
Σ Calcium	[mol]			2,08E+07	1,43E+06
Differenz Calcium - Kohlenstoff				1,79E+07	-2,32E+07

Tab. C2: Verteilung dosisrelevanter Radionuklide in ELK 7/725 [Gew.%) des LAW 1B.

Einlagerungskammer		7/725 i. Na2			
Stoffmenge Calcium	[mol]	3,65E+06			
Stoffmenge Kohlenstoff	[mol]	2,20E+07			
Stoffmenge Kohlenstoff zu TIC umgesetzt	[mol]	1,39E+07			
Differenz Calcium - Kohlenstoff		-1,02E+07			
Stoffmenge Eisen	[mol]	2,91E+07			
Verteilung auf VBA / nVBA		VBA		nVBA	
Stoffmenge Calcium	[mol]	2,42E+05		3,41E+06	
Stoffmenge Kohlenstoff	[mol]	1,22E+05		2,19E+07	
Stoffmenge Kohlenstoff zu TIC umgesetzt	[mol]	7,69E+04		1,38E+07	
Differenz Calcium - Kohlenstoff		1,65E+05		-1,04E+07	
Stoffmenge Eisen	[mol]	4,39E+04		2,91E+07	
Unterteilung zementiert / nicht zementiert		zementiert	nicht zem.	zementiert	nicht zem.
Pu-238		0%	1%	99%	0%
Pu-239		0%	1%	98%	1%
Pu-240		0%	1%	99%	0%
Pu-241		0%	1%	99%	0%
Pu-242		0%	1%	99%	0%
Pu-244		0%	1%	99%	0%
Am-241		0%	1%	98%	0%
Am-242m		5%	1%	88%	6%
Am-243		5%	1%	88%	6%
U-232		0%	0%	97%	3%
U-234		0%	0%	99%	1%
U-235		0%	0%	99%	1%
U-236		0%	0%	97%	3%
U-238		0%	0%	99%	1%
Np-237		5%	1%	81%	13%
Ra-226		0%	0%	24%	76%
Ra-228		0%	0%	0%	100%
Tc-99		1%	0%	96%	3%
Sr-90		4%	1%	81%	14%
Cs-135		5%	1%	88%	6%
Cs-137		3%	1%	51%	45%
Σ Kohlenstoff (TIC)	[mol]	1,42E+03	7,11E+04	2,34E+06	1,03E+07
Σ Calcium	[mol]	1,24E+05	8,47E+04	2,38E+06	3,84E+05
Differenz Calcium - Kohlenstoff		1,23E+05	1,36E+04	3,36E+04	-9,92E+06

Tab. C3: Verteilung dosisrelevanter Radionuklide in ELK 4/750 [Gew.%) des LAW 2.

Einlagerungskammer		4/750			
Stoffmenge Calcium	[mol]	9,88E+06			
Stoffmenge Kohlenstoff	[mol]	1,09E+07			
Stoffmenge Kohlenstoff zu TIC umgesetzt	[mol]	5,79E+06			
Differenz Calcium - Kohlenstoff		4,10E+06			
Stoffmenge Eisen	[mol]	7,32E+06			
Verteilung auf VBA / nVBA		VBA		nVBA	
Stoffmenge Calcium	[mol]			9,88E+06	
Stoffmenge Kohlenstoff	[mol]			1,09E+07	
Stoffmenge Kohlenstoff zu TIC umgesetzt	[mol]			5,79E+06	
Differenz Calcium - Kohlenstoff				4,10E+06	
Stoffmenge Eisen	[mol]			7,32E+06	
Unterteilung zementiert / nicht zementiert		zementiert	nicht zem.	zementiert	nicht zem.
Pu-238				0%	100%
Pu-239				0%	100%
Pu-240				0%	100%
Pu-241				0%	100%
Pu-242				0%	100%
Pu-244					
Am-241				0%	100%
Am-242m				0%	100%
Am-243					
U-232				0%	100%
U-234				100%	0%
U-235				100%	0%
U-236					
U-238				100%	0%
Np-237				0%	100%
Ra-226				100%	0%
Ra-228				100%	0%
Tc-99					
Sr-90				49%	51%
Cs-135					
Cs-137				7%	93%
Σ Kohlenstoff (TIC)	[mol]			3,27E+06	2,06E+06
Σ Calcium	[mol]			8,51E+06	4,63E+05
Differenz Calcium - Kohlenstoff				5,24E+06	-1,60E+06

Tab. C4: Verteilung dosisrelevanter Radionuklide in ELK 8/750 [Gew.%) des LAW 2.

Einlagerungskammer		8/750			
Stoffmenge Calcium	[mol]	5,86E+06			
Stoffmenge Kohlenstoff	[mol]	2,14E+07			
Stoffmenge Kohlenstoff zu TIC umgesetzt	[mol]	9,20E+06			
Differenz Calcium - Kohlenstoff		-3,34E+06			
Stoffmenge Eisen	[mol]	3,64E+07			
Verteilung auf VBA / nVBA		VBA		nVBA	
Stoffmenge Calcium	[mol]			5,86E+06	
Stoffmenge Kohlenstoff	[mol]			2,14E+07	
Stoffmenge Kohlenstoff zu TIC umgesetzt	[mol]			9,20E+06	
Differenz Calcium - Kohlenstoff				-3,34E+06	
Stoffmenge Eisen	[mol]			3,64E+07	
Unterteilung zementiert / nicht zementiert		zementiert	nicht zem.	zementiert	nicht zem.
Pu-238				100%	0%
Pu-239				100%	0%
Pu-240				100%	0%
Pu-241				100%	0%
Pu-242				100%	0%
Pu-244				100%	0%
Am-241				100%	0%
Am-242m				73%	27%
Am-243				81%	19%
U-232				85%	15%
U-234				27%	73%
U-235				28%	72%
U-236				88%	12%
U-238				27%	73%
Np-237				48%	52%
Ra-226				0%	100%
Ra-228				0%	100%
Tc-99				74%	26%
Sr-90				69%	31%
Cs-135				72%	28%
Cs-137				63%	37%
Σ Kohlenstoff (TIC)	[mol]			2,82E+06	5,51E+06
Σ Calcium	[mol]			4,25E+06	4,19E+05
Differenz Calcium - Kohlenstoff				1,43E+06	-5,10E+06

Tab. C5: Verteilung dosisrelevanter Radionuklide in ELK 10/750 [Gew.-%] des LAW 2.

Einlagerungskammer		10/750			
Stoffmenge Calcium	[mol]	2,65E+06			
Stoffmenge Kohlenstoff	[mol]	1,00E+07			
Stoffmenge Kohlenstoff zu TIC umgesetzt	[mol]	6,83E+06			
Differenz Calcium - Kohlenstoff		-4,19E+06			
Stoffmenge Eisen	[mol]	1,30E+07			
Verteilung auf VBA / nVBA		VBA		nVBA	
Stoffmenge Calcium	[mol]	4,77E+04		2,60E+06	
Stoffmenge Kohlenstoff	[mol]	6,22E+04		9,98E+06	
Stoffmenge Kohlenstoff zu TIC umgesetzt	[mol]	4,23E+04		6,79E+06	
Differenz Calcium - Kohlenstoff		5,45E+03		-4,19E+06	
Stoffmenge Eisen	[mol]	6,32E+03		1,30E+07	
Unterteilung zementiert / nicht zementiert		zementiert	nicht zem.	zementiert	nicht zem.
Pu-238			4%	96%	0%
Pu-239			1%	99%	0%
Pu-240			3%	97%	0%
Pu-241			3%	96%	0%
Pu-242			4%	96%	0%
Pu-244			0%	100%	0%
Am-241			3%	71%	26%
Am-242m			8%	33%	59%
Am-243			13%	34%	53%
U-232			1%	1%	98%
U-234			0%	83%	17%
U-235			0%	56%	44%
U-236			1%	1%	98%
U-238			0%	91%	9%
Np-237			3%	39%	59%
Ra-226			0%	17%	83%
Ra-228					
Tc-99			0%	89%	11%
Sr-90			2%	41%	57%
Cs-135			3%	34%	64%
Cs-137			1%	38%	61%
Σ Kohlenstoff (TIC)	[mol]	4,09E+04		1,67E+06	4,43E+06
Σ Calcium	[mol]	4,06E+04		2,02E+06	9,79E+04
Differenz Calcium - Kohlenstoff		-2,95E+02		3,54E+05	-4,33E+06

Tab. C6: Verteilung dosisrelevanter Radionuklide in ELK 5/750 [Gew.%) des LAW 3.

Einlagerungskammer		5/750			
Stoffmenge Calcium	[mol]	1,42E+07			
Stoffmenge Kohlenstoff	[mol]	2,69E+07			
Stoffmenge Kohlenstoff zu TIC umgesetzt	[mol]	1,18E+07			
Differenz Calcium - Kohlenstoff		2,34E+06			
Stoffmenge Eisen	[mol]	3,26E+07			
Verteilung auf VBA / nVBA		VBA		nVBA	
Stoffmenge Calcium	[mol]	7,54E+06		6,62E+06	
Stoffmenge Kohlenstoff	[mol]	6,52E+06		2,03E+07	
Stoffmenge Kohlenstoff zu TIC umgesetzt	[mol]	2,87E+06		8,95E+06	
Differenz Calcium - Kohlenstoff		4,67E+06		-2,33E+06	
Stoffmenge Eisen	[mol]	2,47E+06		3,01E+07	
Unterteilung zementiert / nicht zementiert		zementiert	nicht zem.	zementiert	nicht zem.
Pu-238		7%	41%	52%	0%
Pu-239		5%	46%	49%	0%
Pu-240		5%	45%	50%	0%
Pu-241		6%	43%	51%	0%
Pu-242		6%	44%	49%	0%
Pu-244		7%	44%	49%	0%
Am-241		6%	39%	55%	0%
Am-242m		11%	76%	11%	3%
Am-243		11%	74%	12%	3%
U-232		5%	44%	44%	7%
U-234		3%	37%	44%	16%
U-235		2%	37%	40%	20%
U-236		4%	39%	50%	6%
U-238		3%	28%	42%	28%
Np-237		16%	68%	11%	5%
Ra-226		0%	0%	12%	88%
Ra-228		0%	0%	0%	100%
Tc-99		10%	61%	12%	17%
Sr-90		9%	62%	25%	4%
Cs-135		13%	75%	10%	2%
Cs-137		9%	77%	11%	3%
Σ Kohlenstoff (TIC)	[mol]	1,73E+05	1,77E+06	3,01E+06	5,10E+06
Σ Calcium	[mol]	2,53E+06	3,94E+06	5,17E+06	6,95E+05
Differenz Calcium - Kohlenstoff		2,35E+06	2,17E+06	2,16E+06	-4,40E+06

Tab. C7: Verteilung dosisrelevanter Radionuklide in ELK 6/750 [Gew.%) des LAW 3.

Einlagerungskammer		6/750			
Stoffmenge Calcium	[mol]	4,34E+07			
Stoffmenge Kohlenstoff	[mol]	8,36E+06			
Stoffmenge Kohlenstoff zu TIC umgesetzt	[mol]	8,36E+06			
Differenz Calcium - Kohlenstoff		3,50E+07			
Stoffmenge Eisen	[mol]	1,65E+07			
Verteilung auf VBA / nVBA		VBA		nVBA	
Stoffmenge Calcium	[mol]	3,78E+07		5,61E+06	
Stoffmenge Kohlenstoff	[mol]	2,47E+06		5,89E+06	
Stoffmenge Kohlenstoff zu TIC umgesetzt	[mol]	2,47E+06		5,89E+06	
Differenz Calcium - Kohlenstoff		3,53E+07		-2,75E+05	
Stoffmenge Eisen	[mol]	1,09E+07		5,63E+06	
Unterteilung zementiert / nicht zementiert		zementiert	nicht zem.	zementiert	nicht zem.
Pu-238		99%	0%	1%	0%
Pu-239		99%	0%	1%	0%
Pu-240		99%	0%	1%	0%
Pu-241		99%	0%	1%	0%
Pu-242		99%	0%	1%	0%
Pu-244		100%	0%	0%	0%
Am-241		100%	0%	0%	0%
Am-242m		100%	0%	0%	0%
Am-243		100%	0%	0%	0%
U-232		97%	3%	0%	0%
U-234		95%	1%	4%	0%
U-235		39%	0%	55%	6%
U-236		100%	0%	0%	0%
U-238		74%	0%	24%	2%
Np-237		97%	3%	0%	0%
Ra-226		0%	0%	0%	100%
Ra-228		67%	33%	0%	0%
Tc-99		94%	0%	0%	6%
Sr-90		100%	0%	0%	0%
Cs-135		100%	0%	0%	0%
Cs-137		99%	1%	0%	0%
Σ Kohlenstoff (TIC)	[mol]	8,03E+05	2,15E+05	1,03E+06	4,09E+06
Σ Calcium	[mol]	3,28E+07	5,95E+05	4,98E+06	1,38E+05
Differenz Calcium - Kohlenstoff		3,20E+07	3,80E+05	3,95E+06	-3,96E+06

Tab. C8: Verteilung dosisrelevanter Radionuklide in ELK 7/750 [Gew.%) des LAW 3.

Einlagerungskammer		7/750			
Stoffmenge Calcium	[mol]	2,54E+07			
Stoffmenge Kohlenstoff	[mol]	3,22E+06			
Stoffmenge Kohlenstoff zu TIC umgesetzt	[mol]	3,22E+06			
Differenz Calcium - Kohlenstoff		2,21E+07			
Stoffmenge Eisen	[mol]	1,07E+07			
Verteilung auf VBA / nVBA		VBA		nVBA	
Stoffmenge Calcium	[mol]	2,46E+07		7,57E+05	
Stoffmenge Kohlenstoff	[mol]	9,14E+05		2,31E+06	
Stoffmenge Kohlenstoff zu TIC umgesetzt	[mol]	9,14E+05		2,31E+06	
Differenz Calcium - Kohlenstoff		2,37E+07		-1,55E+06	
Stoffmenge Eisen	[mol]	6,33E+06		4,41E+06	
Unterteilung zementiert / nicht zementiert		zementiert	nicht zem.	zementiert	nicht zem.
Pu-238		99%	1%	0%	0%
Pu-239		99%	1%	0%	0%
Pu-240		99%	1%	0%	0%
Pu-241		99%	1%	0%	0%
Pu-242		99%	1%	0%	0%
Pu-244		99%	1%	0%	0%
Am-241		99%	1%	0%	0%
Am-242m		98%	2%	0%	0%
Am-243		99%	1%	0%	0%
U-232		98%	2%	0%	0%
U-234		98%	1%	0%	0%
U-235		97%	1%	0%	1%
U-236		99%	1%	0%	0%
U-238		98%	2%	0%	1%
Np-237		98%	2%	0%	0%
Ra-226		0%	0%	0%	100%
Ra-228		95%	5%	0%	0%
Tc-99		89%	1%	0%	9%
Sr-90		99%	1%	0%	0%
Cs-135		98%	2%	0%	0%
Cs-137		98%	1%	0%	0%
Σ Kohlenstoff (TIC)	[mol]	4,34E+05	2,06E+05	7,76E+04	2,11E+06
Σ Calcium	[mol]	2,13E+07	3,86E+05	5,48E+05	5,51E+04
Differenz Calcium - Kohlenstoff		2,09E+07	1,80E+05	4,70E+05	-2,06E+06

Tab. C9: Verteilung dosisrelevanter Radionuklide in ELK 11/750 [Gew.-%] des LAW 3.

Einlagerungskammer		11/750			
Stoffmenge Calcium	[mol]	3,49E+07			
Stoffmenge Kohlenstoff	[mol]	2,87E+07			
Stoffmenge Kohlenstoff zu TIC umgesetzt	[mol]	1,15E+07			
Differenz Calcium - Kohlenstoff		2,34E+07			
Stoffmenge Eisen	[mol]	2,69E+07			
Verteilung auf VBA / nVBA		VBA		nVBA	
Stoffmenge Calcium	[mol]	3,21E+07		2,72E+06	
Stoffmenge Kohlenstoff	[mol]	1,71E+07		1,15E+07	
Stoffmenge Kohlenstoff zu TIC umgesetzt	[mol]	6,85E+06		4,62E+06	
Differenz Calcium - Kohlenstoff		2,53E+07		-1,90E+06	
Stoffmenge Eisen	[mol]	1,11E+07		1,57E+07	
Unterteilung zementiert / nicht zementiert		zementiert	nicht zem.	zementiert	nicht zem.
Pu-238		27%	72%	1%	0%
Pu-239		13%	82%	5%	0%
Pu-240		16%	80%	5%	0%
Pu-241		21%	76%	3%	0%
Pu-242		22%	76%	2%	0%
Pu-244		28%	72%	0%	0%
Am-241		20%	76%	4%	0%
Am-242m		64%	35%	1%	0%
Am-243		75%	25%	0%	0%
U-232		23%	77%	1%	0%
U-234		7%	56%	27%	10%
U-235		4%	49%	33%	13%
U-236		18%	80%	1%	0%
U-238		5%	35%	43%	17%
Np-237		62%	36%	1%	0%
Ra-226		0%	0%	0%	100%
Ra-228		45%	55%	0%	0%
Tc-99		60%	34%	2%	5%
Sr-90		63%	34%	2%	0%
Cs-135		56%	42%	1%	0%
Cs-137		47%	51%	2%	0%
Σ Kohlenstoff (TIC)	[mol]	7,82E+05	3,88E+06	2,46E+06	1,66E+06
Σ Calcium	[mol]	1,81E+07	9,68E+06	2,10E+06	8,07E+04
Differenz Calcium - Kohlenstoff		1,73E+07	5,79E+06	-3,65E+05	-1,58E+06

Tab. C10: Verteilung dosisrelevanter Radionuklide in ELK 1/750 [Gew.-%] des LAW 4.

Einlagerungskammer		1/750			
Stoffmenge Calcium	[mol]	1,12E+07			
Stoffmenge Kohlenstoff	[mol]	2,59E+07			
Stoffmenge Kohlenstoff zu TIC umgesetzt	[mol]	1,04E+07			
Differenz Calcium - Kohlenstoff		8,73E+05			
Stoffmenge Eisen	[mol]	1,52E+07			
Verteilung auf VBA / nVBA		VBA		nVBA	
Stoffmenge Calcium	[mol]			1,12E+07	
Stoffmenge Kohlenstoff	[mol]			2,59E+07	
Stoffmenge Kohlenstoff zu TIC umgesetzt	[mol]			1,04E+07	
Differenz Calcium - Kohlenstoff				8,73E+05	
Stoffmenge Eisen	[mol]			1,52E+07	
Unterteilung zementiert / nicht zementiert		zementiert	nicht zem.	zementiert	nicht zem.
Pu-238				100%	0%
Pu-239				100%	0%
Pu-240				100%	0%
Pu-241				100%	0%
Pu-242				100%	0%
Pu-244				100%	0%
Am-241				100%	0%
Am-242m				98%	2%
Am-243				99%	1%
U-232				100%	0%
U-234				100%	0%
U-235				100%	0%
U-236				100%	0%
U-238				100%	0%
Np-237				90%	10%
Ra-226				53%	47%
Ra-228				0%	100%
Tc-99				58%	42%
Sr-90				98%	2%
Cs-135				99%	1%
Cs-137				92%	8%
Σ Kohlenstoff (TIC)	[mol]			6,54E+06	2,94E+06
Σ Calcium	[mol]			9,25E+06	4,77E+05
Differenz Calcium - Kohlenstoff				2,71E+06	-2,46E+06

Tab. C11: Verteilung dosisrelevanter Radionuklide in ELK 2/750 [Gew.%) des LAW 4.

Einlagerungskammer		2/750			
Stoffmenge Calcium	[mol]	7,67E+06			
Stoffmenge Kohlenstoff	[mol]	2,95E+07			
Stoffmenge Kohlenstoff zu TIC umgesetzt	[mol]	1,18E+07			
Differenz Calcium - Kohlenstoff		-4,12E+06			
Stoffmenge Eisen	[mol]	1,41E+07			
Verteilung auf VBA / nVBA		VBA		nVBA	
Stoffmenge Calcium	[mol]	9,17E+05		6,75E+06	
Stoffmenge Kohlenstoff	[mol]	1,15E+06		2,83E+07	
Stoffmenge Kohlenstoff zu TIC umgesetzt	[mol]	4,60E+05		1,13E+07	
Differenz Calcium - Kohlenstoff		4,57E+05		-4,58E+06	
Stoffmenge Eisen	[mol]	1,45E+05		1,39E+07	
Unterteilung zementiert / nicht zementiert		zementiert	nicht zementiert	zementiert	nicht zementiert
Pu-238		0%	6%	69%	25%
Pu-239		0%	18%	64%	18%
Pu-240		0%	18%	64%	18%
Pu-241		0%	13%	66%	20%
Pu-242		0%	12%	67%	21%
Pu-244		0%	1%	70%	29%
Am-241		0%	12%	67%	21%
Am-242m		0%	3%	90%	7%
Am-243		0%	2%	93%	4%
U-232		0%	3%	90%	8%
U-234		0%	6%	83%	11%
U-235		0%	5%	81%	13%
U-236		0%	5%	88%	7%
U-238		0%	9%	78%	12%
Np-237		0%	4%	79%	17%
Ra-226		0%	0%	0%	100%
Ra-228		0%	0%	100%	0%
Tc-99		0%	5%	88%	7%
Sr-90		0%	4%	88%	8%
Cs-135		0%	5%	88%	7%
Cs-137		0%	0%	96%	3%
Σ Kohlenstoff (TIC)	[mol]	2,00E+04	4,26E+05	7,77E+06	2,69E+06
Σ Calcium	[mol]	6,40E+04	7,16E+05	5,88E+06	3,46E+04
Differenz Calcium - Kohlenstoff		4,41E+04	2,90E+05	-1,89E+06	-2,65E+06

Tab. C12: Verteilung dosisrelevanter Radionuklide in ELK 12/750 [Gew.-%] des LAW 4.

Einlagerungskammer		12/750			
Stoffmenge Calcium	[mol]	8,47E+06			
Stoffmenge Kohlenstoff	[mol]	2,14E+07			
Stoffmenge Kohlenstoff zu TIC umgesetzt	[mol]	8,55E+06			
Differenz Calcium - Kohlenstoff		-7,93E+04			
Stoffmenge Eisen	[mol]	1,21E+07			
Verteilung auf VBA / nVBA		VBA		nVBA	
Stoffmenge Calcium	[mol]	4,87E+06		3,60E+06	
Stoffmenge Kohlenstoff	[mol]	2,46E+06		1,89E+07	
Stoffmenge Kohlenstoff zu TIC umgesetzt	[mol]	9,84E+05		7,57E+06	
Differenz Calcium - Kohlenstoff		3,89E+06		-3,97E+06	
Stoffmenge Eisen	[mol]	1,56E+06		1,06E+07	
Unterteilung zementiert / nicht zementiert		zementiert	nicht zement.	zementiert	nicht zement.
Pu-238		53%	22%	23%	2%
Pu-239		53%	22%	23%	2%
Pu-240		53%	22%	23%	2%
Pu-241		53%	22%	23%	2%
Pu-242		53%	22%	23%	2%
Pu-244		71%	17%	12%	0%
Am-241		52%	24%	22%	2%
Am-242m		42%	49%	5%	5%
Am-243		41%	50%	5%	4%
U-232		34%	13%	33%	20%
U-234		1%	2%	73%	24%
U-235		1%	1%	74%	24%
U-236		14%	25%	56%	5%
U-238		1%	2%	73%	23%
Np-237		25%	17%	4%	54%
Ra-226		0%	0%	10%	90%
Ra-228		0%	0%	0%	100%
Tc-99		41%	49%	6%	4%
Sr-90		41%	49%	6%	5%
Cs-135		41%	50%	5%	4%
Cs-137		39%	40%	10%	11%
Σ Kohlenstoff (TIC)	[mol]	2,23E+05	7,14E+05	3,01E+06	3,57E+06
Σ Calcium	[mol]	3,00E+06	1,23E+06	2,66E+06	4,98E+04
Differenz Calcium - Kohlenstoff		2,78E+06	5,14E+05	-3,53E+05	-3,52E+06