

Projekt VerSi

Endlagerung im Tonstein

Abschlussbericht zum
Vorhaben 3607R02538
„Untersuchung aktueller
planerischer Grundsatzfragen
zur Endlagerung radioaktiver
Abfälle in tiefen geologischen
Formationen“

Entwicklung eines
synthetischen
Tonsteinstandortes

Teil 4:
Modellkonzept für ein
Endlager im Salz



Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH

Projekt VerSi

Endlagerung im Tonstein

Abschlussbericht zum Vorhaben
3607R02538 „Untersuchung aktuel-
ler planerischer Grundsatzfragen
zur Endlagerung radioaktiver Abfälle
in tiefen geologischen Formationen“

Entwicklung eines synthetischen
Tonsteinstandortes

Teil4:
Modellkonzept für ein Endlager im

André Rübel
Jörg Mönig

Dezember 2010

Auftrags-Nr.: 835650

Anmerkung:

Das diesem Bericht zu Grunde lie-
gende FE-Vorhaben 3607R02538
wurde im Auftrag des Bundesmini-
steriums für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit durchgeführt.
Die Verantwortung für den Inhalt
dieser Veröffentlichung liegt beim
Auftragnehmer.

Der Bericht gibt die Auffassung und
Meinung des Auftragnehmers wie-
der und muss nicht mit der Meinung
des Auftraggebers übereinstimmen

Kurzfassung

Der vorliegende Teilbericht 4 zum Abschlussbericht des Projekts VerSi beinhaltet die Darstellung der Arbeiten zum Vorhaben 3607R02538 „Untersuchung aktueller planerischer Grundsatzfragen zur Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen“ in Bezug auf die Beschreibung eines Modellkonzept für ein Endlager im Salz.

In dem vorliegenden Bericht werden das Endlagerkonzept für ein Endlager im Salz auf Basis des Standorts Gorleben und die sich daraus ergebenden Eingangsdaten der Endlagergeometrie für die langzeitsicherheitsanalytischen Rechnungen beschrieben. Dazu wird zuerst der Endlagerstandort skizziert und dann auf das geometrische Layout des Endlagers eingegangen.

Abstract

This report contains the description of the work in connection with Project 3607R02538 dealing with a repository concept in salt for a repository for heat-generating waste.

The report reflects the current status of the development of the repository concept for the Gorleben site and describes geological situation of the site, the repository design and the parameters used in calculations for long term safety analysis.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Kurzbeschreibung des Standortes.....	2
2.1	Geologie und Hydrogeologie des Deck- und Nebengebirges.....	2
2.2	Aufbau des Salinars.....	4
3	Endlagerkonzept.....	8
3.1	Sicherheitskonzept	8
3.2	Endlagerlayout.....	11
4	Literatur	19
	Abbildungsverzeichnis.....	21
	Tabellenverzeichnis.....	21

1 Einleitung

Mit dem Projekt VerSi sollen die Voraussetzungen geschaffen werden, um einen Vergleich von potentiellen Endlagerstandorten für wärmeentwickelnde, hochradioaktive Abfälle zu ermöglichen. Dies erfolgt auf der Basis von konkreten Beispielen derart, dass für zwei Endlagersysteme in verschiedenen geologischen Formationen sowohl systematische qualitative Vergleiche, sowie auch Sicherheitsanalysen nach dem Stand von Wissenschaft und Technik durchgeführt werden. Diese Sicherheitsanalysen erlauben, verschiedene Möglichkeiten für einen Standortvergleich in Bezug auf die Langzeitsicherheit anzuwenden und gestützt darauf eine Methodik zum Standortvergleich und die dazu erforderlichen Instrumentarien zu entwickeln.

Als ein Wirtsgestein wird in VerSi Salz in steiler Lagerung betrachtet. Wegen der Fülle der vorhandenen und gut dokumentierten Daten wird als Beispiel der Standort Gorleben herangezogen und auf Basis eines entwickelten und hier leicht adaptierten Endlagerkonzeptes eine Sicherheitsanalyse durchgeführt. Als anderes Wirtsgestein wird flach gelagerter konsolidierter Tonstein betrachtet, wofür ein synthetischer Standort definiert wird.

In dem vorliegenden Bericht werden das Endlagerkonzept für ein Endlager im Salz und die sich daraus ergebenden Eingangsdaten der Endlagergeometrie für die langzeitsicherheitsanalytischen Rechnungen beschrieben. Dazu wird zuerst der Endlagerstandort skizziert und dann auf das geometrische Layout des Endlagers eingegangen. Die Ergebnisse der sicherheitsanalytischen Rechnungen werden in Verbindung mit den dabei berücksichtigten Prozessen, Modellkonzepten, Parameterwerten und Szenarien für die Entwicklung des Endlagersystems in einem separaten Bericht detailliert dargestellt /RUE 10/.

2 Beschreibung des Standortes

Für die Sicherheitsanalyse für ein HAW-Endlager im Wirtsgestein Salz wird das Referenzmodell des Standorts Gorleben im Nordosten von Niedersachsen zu Grunde gelegt. Dieser Teil der Norddeutschen Tiefebene ist ein tektonisch ruhiges Gebiet mit einer langfristig geringen epirogenen Absenkung.

Der Standort Gorleben ist ausgiebig durch über-, sowie untertägige Erkundungen untersucht worden. Die Erkundungsergebnisse sind in unterschiedlichen Berichten dokumentiert /BOR 08, KLI 07, KOE 07/. In den folgenden Unterkapiteln werden die für die Arbeiten im Projekt VerSi wichtigen Eigenschaften des Standorts kurz skizziert. Für eine umfassende Darstellung sei auf die zitierte Literatur verwiesen.

2.1 Geologie und Hydrogeologie des Deck- und Nebengebirges

Die Abbildung 2.1 zeigt einen schematischen geologischen Schnitt durch das Deck- und Nebengebirge um den Salzstock Gorleben mit der Salzstruktur Gorleben im Zentrum. Zu beiden Seiten des Salzstockes befinden sich sekundäre Randsenken, die durch die Abwanderung des Salzes bei der Bildung des Salzstocks entstanden sind. Innerhalb der beiden Randsenken ist eine bis zu 2 500 m mächtige Schicht mesozoischer Gesteine vorhanden. Über dem Salzstock ist diese Schichtenfolge - bis auf geringe Anteile der Kreide - nicht vorhanden. An den Salzstockflanken hat sich durch die Hebung des Salzstocks ein Ringwall aus tertiären Gesteinen ausgebildet.

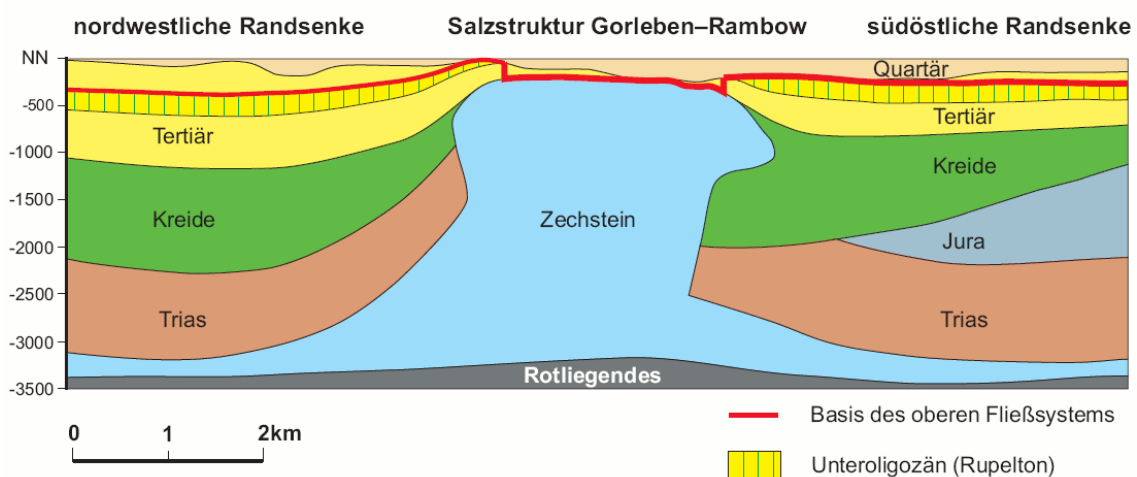


Abb. 2.1: Vereinfachter geologischer Schnitt durch den Salzstock Gorleben /KLI 07/

Die Abbildung 2.2 zeigt im oberen Bild eine detaillierte Darstellung der hydrogeologischen Schichten und im unteren Bild die Süß- und Salzwasserverteilung in den oberen 450 m des Deckgebirges über dem Salzstock Gorleben. Im Gebiet über dem Salzstock Gorleben bilden tertiäre und quartäre Sedimente ein bis zu 430 m mächtiges System von Grundwasserleitern und -geringleitern. In weiten Bereichen des Gebiets weisen die hydrogeologischen Einheiten ein Stockwerkssystem auf, das aus zwei Grundwasserleitern und einem dazwischen liegenden Grundwassergeringleiter besteht. Der obere Grundwasserleiter besteht dabei hauptsächlich aus saale- und weichselzeitlichen Sedimenten, während der untere Grundwasserleiter aus tertiären und elsterzeitlichen Sedimenten gebildet wird.

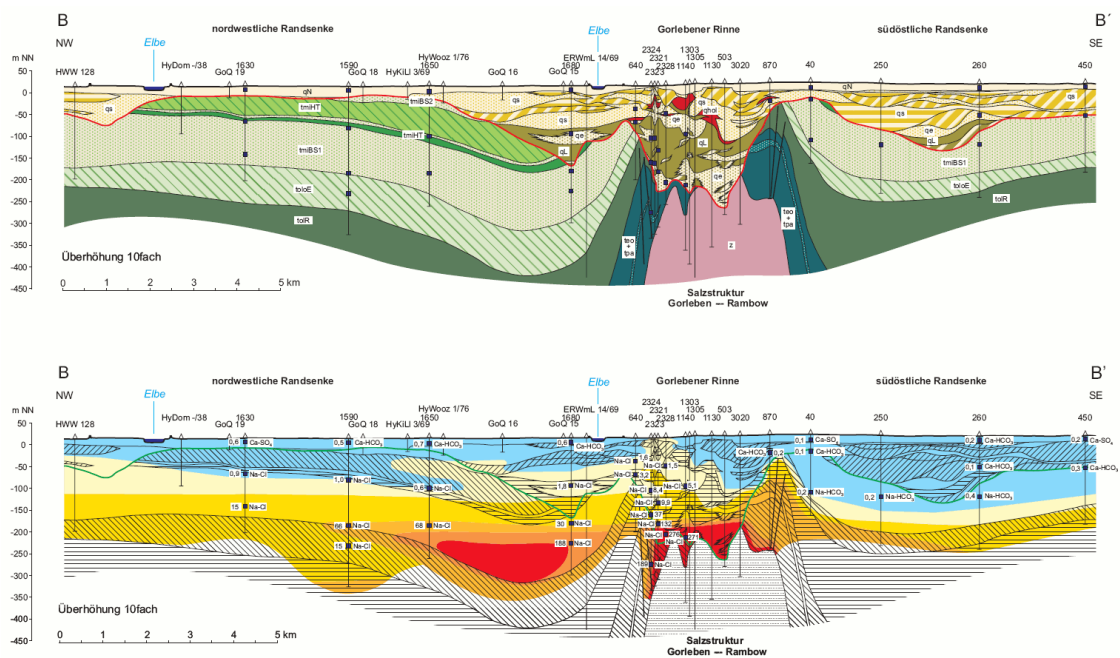


Abb. 2.2: Hydrogeologischer Schnitt (oben) durch das und Süß/Salzwasserverteilung (unten) im Deckgebirge über dem Salzstock Gorleben /KLI 07/

Der Grundwassergeringleiter besteht hauptsächlich aus dem quartären Lauenburger-Ton-Komplex und dem tertiären Hamburg-Ton. In den nördlichen und südlichen Bereichen stehen der obere und untere Grundwasserleiter im direkten Kontakt. Auch im restlichen Gebiet sind Bereiche mit Verbreitungslücken des Grundwassergeringleiters vorhanden. Die Verbreitung des Geringwasserleiters ist in Abbildung 2.3 dargestellt.

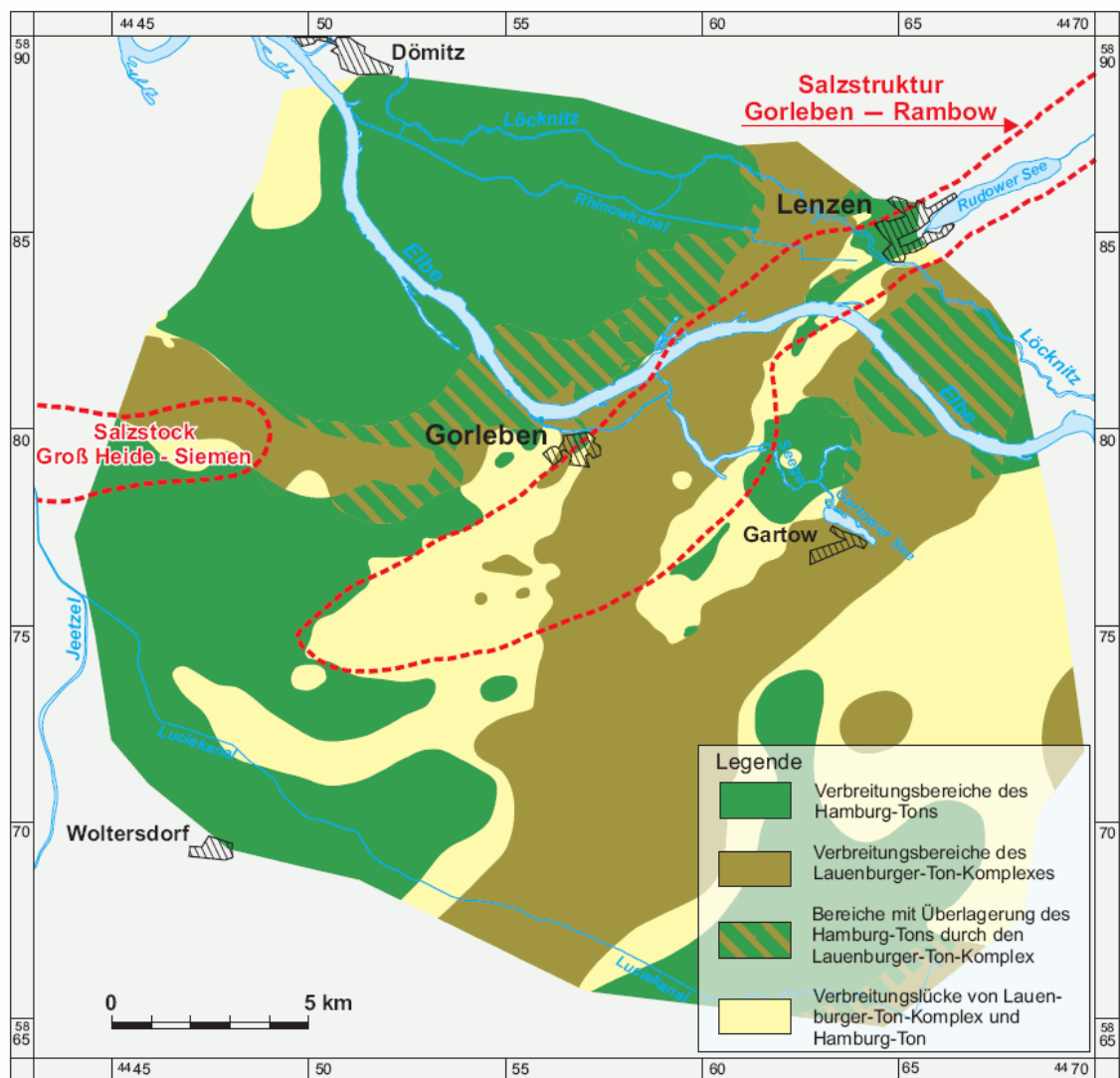


Abb. 2.3: Verbreitung der Grundwassergeringleiter Hamburg-Ton und Lauenburger-Ton-Komplex /KLI 07/

Im zentralen Bereich von Abbildung 2.2 ist direkt über dem Salzstock die elsterzeitlich entstandene Gorlebener Rinne zu erkennen. Durch die Rinnenbildung wurden in diesem Bereich die tertiären und älteren Sedimente zum Teil vollständig erodiert, so dass gut durchlässige quartäre Lockersedimente unmittelbar über dem Hutgestein, bzw. zum Teil auch direkt über dem Zechstein anstehen. Dadurch kommt es zu einer Aufsalzung des im unteren Grundwasserleiter über den Salzstock strömenden Grundwassers.

Basierend auf der Süß/Salzwasserverteilung und den Ergebnissen hydrogeologischer Modellrechnungen werden in /KLI 07/ zwei mögliche Ausbreitungspfade für die über dem Salzstock gebildeten Salzwässer definiert. Dies sind zum einen ein lateraler Ausstrag in die nordwestliche Randsenke, in der sich die Wässer aufgrund ihrer erhöhten

Dichte an der Aquiferbasis sammeln, und zum anderen ein vertikaler Aufstieg in den oberen Grundwasserleiter infolge lokal erhöhter Durchlässigkeiten innerhalb des überlagernden Grundwassergeringleiters.

2.2 Aufbau des Salinars

Abbildung 2.4 zeigt einen vereinfachten Querschnitt durch den Salzstock Gorleben mit den geologischen Einheiten und der Lage der Erkundungssohle des Bergwerks Gorleben. Die Salzstruktur hat eine Länge von etwa 30 km und eine Breite von 3,5 bis 4 km, wobei sie eine leichte Verengung im Bereich unmittelbar südlich der Elbe aufweist. Die Basis des Zechsteins liegt heute in einer Tiefe von 3 100 bis 4 450 m unter der Geländeoberfläche. Der südwestlich gelegene Teil der Salzstruktur wird als Salzstock Gorleben und die nordöstlich gelegene Struktur als Salzstock Rambow bezeichnet.

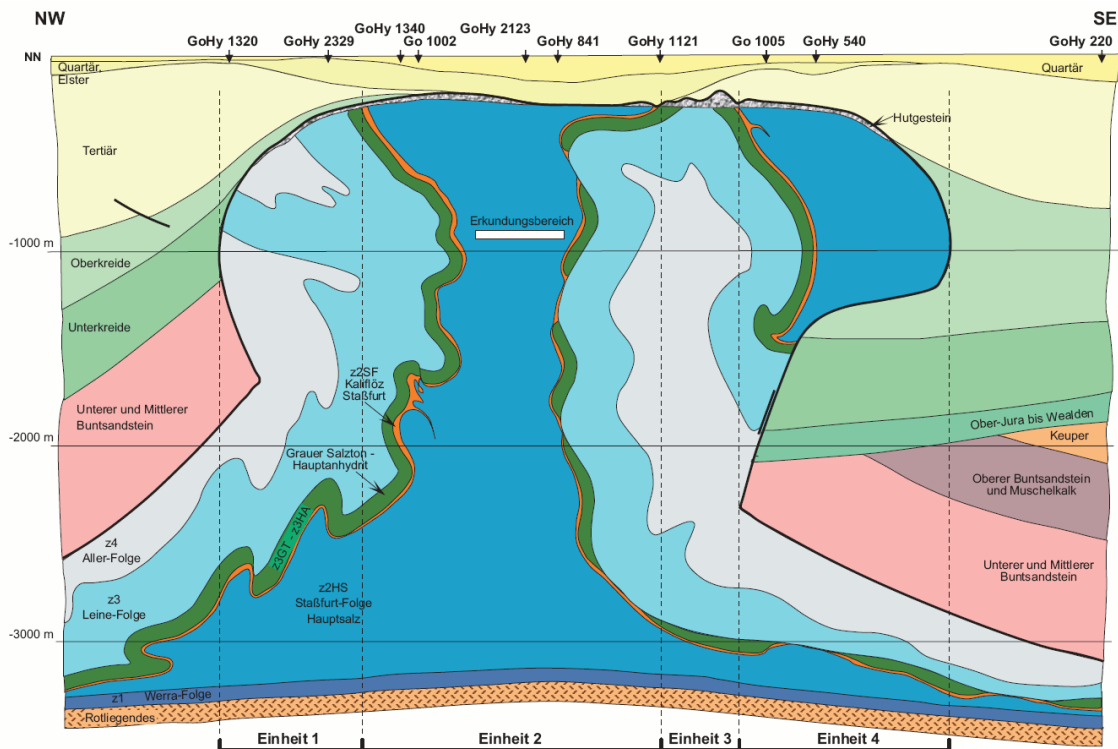


Abb. 2.4: Vereinfachter Schnitt durch den Salzstock Gorleben /BOR 03/

Beim Salzaufstieg wurde etwa die Hälfte der vorhandenen Salzvorkommen im Salzstock akkumuliert. Während ursprünglich der Zechstein eine Mächtigkeit von etwa 1 000 m aufwies, beträgt dessen Mächtigkeit in den Randbereichen um den Salzstock nur noch etwa 100 m bis maximal 500 m. Bei den in den Randbereichen des Salzstocks verbliebenen Schichten handelt es sich vorwiegend um Schichten der Leine-Folge (z3). Die mobileren Schichten des Hauptsalzes (z2HS) sind hingegen nahezu

vollständig in die Salzstruktur eingewandert. In der Umgebung des Erkundungsbereichs im Bergwerk Gorleben betragen die Fließgeschwindigkeiten des Salzes beim Aufstieg zwischen $0,02 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ im Miozän bis Quartär bis zu maximal $0,34 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ während der Oberkreide. Der Salzstockaufstieg ist praktisch abgeschlossen. Für die nächste Million Jahre ist davon auszugehen, dass aufgrund der verbliebenen geringen Salzmenigen unter dem Nebengebirge in Verbindung mit dem bestehenden überregionalen neotektonischen Beanspruchungsplan keine erneute massive Salzeinwanderung in die Struktur mit entscheidenden Änderungen der geologischen Standortverhältnisse stattfindet.

Der Aufbau des Salzstocks Gorleben besteht im Wesentlichen aus Schichten der Aller-Folge (z4) mit einer Mächtigkeit von etwa 60 m, der Leine-Folge (z3) mit einer Mächtigkeit von etwa 320 m und der Staßfurt-Folge (z2) mit einer Mächtigkeit von 700 m bis zu 950 m. Die Werra-Folge (z1) und die unteren Schichten der Staßfurt-Folge nahmen nicht am Salzaufstieg teil. Die Staßfurt-Folge wird in drei Schichten untergliedert, das Basissalz (z2BS), das Hangendsalz (z2HG) und das Hauptsalz (z2HS). In letzterem soll das Endlager errichtet werden. Die Staßfurt-Folge umschließt auch das Kaliflös Staßfurt (z2SF) mit einer stark zerstörten Folge von Carnallit und Steinsalzbänken und einer mittleren Mächtigkeit von 15 bis 30 m. Innerhalb der Leine-Folge befindet sich der Hauptanhydrit (z3HA) mit einer Mächtigkeit zwischen 40 und 80 m.

Der Salzspiegel über dem Salzstock Gorleben variiert in seiner Tiefe von -160 m bis -340 m. Im Bereich der beiden Schächte wird der Salzspiegel bei etwa -260 m angetroffen. Oberhalb des Salzspiegels ist in weiten Bereichen des Salzstocks Gorleben Hutgestein ausgebildet dessen Mächtigkeit zwischen 111 m und 0 m schwankt. Das Nichtvorhandensein des Hutgesteins in einem Teilbereich des Salzstocks ist auf dessen Erosion während der Rinnenbildung zurückzuführen. Durch die Ausbildung von Hutgesteinsbrekzie und Ablagerungen von Gips- und Anhydritgestein lässt sich die Ablagerungsrate am Salzstock Gorleben für den Zeitraum von der Anlage der quartären Rinnen bis zum Postholstein zu $0,2$ bis $0,3 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ abschätzen.

Im Salzstock Gorleben werden Lösungen unterschiedlicher Herkunft angetroffen. Dabei ist zwischen dem Wassergehalt des Salzes selbst und eingeschlossenen Lösungsvorkommen zu unterscheiden. Der Wassergehalt des Hauptsalzes der Staßfurt-Folge beträgt nach Messungen an Proben aus dem Erkundungsbereich im Mittel $0,0164 \text{ Gew.}\%$ /SAN 01/. Dieses Wasser liegt in Form von intra- und interkristallinen Flüssigkeitseinschlüssen vor. Lösungsvorkommen sind im Salzstock an bestimmte

stratigraphische Horizonte gebunden und nicht gleichmäßig im Salzstock verteilt. So kommen insbesondere im Hauptsalz z2HS des Salzstock Gorlebens keine nennenswerten Lösungsvorkommen vor. Bisher bei der Erkundung angetroffene Lösungsvorkommen waren hauptsächlich an anhydritische Gesteine der Leine-Folge gebunden. Bei diesen Lösungen handelt es sich ausschließlich um salzstockinterne Lösungen und nicht um Lösungszutritte von außen.

3 Endlagerkonzept

In den folgenden beiden Unterkapiteln wird das Endlagerkonzept kurz beschrieben. Dabei wird im ersten Teil zuerst das dem Endlagerkonzept zu Grunde liegende Sicherheitskonzept und dann im zweiten Teil das Endlagerlayout dargestellt.

3.1 Sicherheitskonzept

Das Sicherheitskonzept für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle im Salz beruht auf dem nachsorgefreien Einschluss der radioaktiven Abfälle in einem Teilbereich der Salzformation, der die Einlagerungsgrubenbaue umschließt. Dieser als einschlusswirksamer Gebirgsbereich (ewG) bezeichnete Teilbereich der Salzformation muss bei ungestörter Entwicklung des Endlagersystems für den Nachweiszeitraum von 1 Million Jahre - im Zusammenwirken mit technischen und geotechnischen Barrieren - den vollständigen Einschluss der Abfälle sicherstellen.

Bei der bestimmungsgemäßen Entwicklung des Endlagers treten keine Wegsamkeiten im Wirtsgestein auf, so dass kein Lösungszutritt von außen in den ewG erfolgt. Die durch die Auffahrung des Endlagerbergwerks geschaffenen Hohlräume und Wegsamkeiten der Schächte und Strecken verschließen sich durch das Kriechen des Salzgesteins mit der Zeit wieder, so dass der Gebirgsbereich eine dem Wirtsgestein vergleichbare, geringe Durchlässigkeit erlangt und somit seine Barrierenfunktion erfüllt. Im Endlager gebildete Gase werden entweder über die Strecken und Schächte, oder durch die dilatanzgesteuerte und reversible Bildung von Wegsamkeiten auf den Korngrenzen im Wirtsgestein abgeführt.

Technische Maßnahmen im Endlager zielen daher in erster Linie darauf ab, das selbständige Verschließen des Endlagers durch die Konvergenz der aufgefahrenen Hohlräume zu beschleunigen und den Zutritt von Lösungen zu den Abfällen in der Zwischenzeit bis zum Erreichen des dichten Verschlusses zu verhindern bzw. zu minimieren. Weitere technische Maßnahmen sollen im Falle einer nicht bestimmungsgemäßen Entwicklung das Austreten von kontaminierten Lösungen aus dem Endlager minimieren und die Auswirkungen auf möglichst kleine Endlagerbereiche einschränken.

Die wichtigsten technischen Maßnahmen sind im Einzelnen:

- Verschluss von Tagesschächten und Zugangsstrecken mit Abdichtbauwerken:

In den Tagesschächten und Zugangsstrecken des Endlagers werden Abdichtbauwerke erstellt, um den Zufluss von Lösung aus dem Deckgebirge in das Endlager in der Zeit bis zur Wiederherstellung des dichten Zustands zu verhindern, bzw. zu minimieren. Die Verschlussbauwerke müssen dabei mindestens so lange wirksam sein, bis der Einschluss im Endlager durch die Konvergenz hergestellt ist.

- Verfüllung der offenen Hohlräume mit Salzgrus:

Die Verfüllung der geschaffenen Hohlräume mit dem arteigenen Material Salzgrus hat drei Funktionen. Erstens verringert der Versatz den durch die Konvergenz beeinflussten Gebirgsbereich und die im Gebirge induzierten Spannungen. Zweitens begrenzt der Versatz die maximal mögliche in das Endlager zufließende Lösungsmenge und drittens führt der Versatz zu einer schnelleren Verringerung der Permeabilität in den Strecken und somit zu einem schnelleren Verschluss des Endlagers.

- Minimierung der in das Endlager abfallnah eingebrachten Wassermengen:

An die Abfallbehälter herantretende Lösungen führen zur Korrosion der Abfallbehälter und zur Bildung von Gasen. Zur Verringerung der Menge an gebildeten Gasen werden die in das Endlager eingetragenen Wassermengen so weit möglich verringert, so z. B. durch das Einbringen von trockenem Salzgrusversatz.

- Begrenzung der maximalen Temperatur im gewachsenen Steinsalz auf 200°C.

- Verfüllung des Infrastrukturbereichs mit nicht kompaktierendem Versatz:

Die Grubenbaue im Infrastrukturbereich werden mit einem nicht kompaktierenden Versatz (z.B. Schotter) verfüllt. Das dadurch entstehende und permanent verbleibende Porenvolumen dient zur Aufnahme von in den Infrastrukturbereich zutretenden Lösungen.

- Abtrennung der einzelnen Einlagerungsfelder durch Dammbauwerke:

Zwischen den einzelnen Einlagerungsfeldern und den Zugangsstrecken werden Dammbauwerke errichtet, um mögliche Auswirkungen, wie z.B. beim menschlichen

Eindringen oder dem Zutritt von Lösung aus unentdeckten Lösungsvorkommen, auf einen lokalen Bereich im Endlager zu begrenzen.

Weitere Maßnahmen bei der Errichtung des Endlagerbergwerks sind:

- Ausreichende Teufenlage des Endlagerbergwerks:

Das Endlagerbergwerk wird in einer Tiefe errichtet, bei der einerseits noch eine sichere Betriebsführung problemlos möglich ist, andererseits aber auch nachgewiesen werden kann, dass geologische Prozesse nicht zu einer Beeinträchtigung der Einschlusswirkung des ewG führen.

- Einlagerung in einem gut explorierten Wirtsgesteinskörper:

Die Errichtung eines Endlagerbergwerks erfolgt in einem gut explorierten Wirtsgestein, für den möglichst homogene Eigenschaften und eine geringe Wahrscheinlichkeit für das Vorhandensein größerer Lösungsvorkommen nachgewiesen wurden.

- Einhaltung von Sicherheitsabständen zu spröderen Salzsichten:

Es werden Sicherheitsabstände von den Einlagerungsbereichen zu den folgenden Strukturen eingehalten: den Tagesschächten, nicht-halitischen Horizonten und den Salzstockflanken.

- Hohe Mächtigkeit der hangenden Salzsichten:

Zum Schutz des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (ewG) vor Subrosionsprozessen erfolgt die Errichtung des Endlagerbergwerks mit ausreichend mächtiger Überdeckung durch hangende Salzsichten.

Der einschlusswirksame Gebirgsbereich wird im Projekt VerSi für das Endlager im Salz wie folgt festgelegt: Der ewG liegt vollständig im Hauptsalz der Staßfurt-Folge z2HS und umschließt die Einlagerungsbereiche mit einem Abstand von einigen Metern zu den Grubenbauen. Die Außengrenze des ewGs im Endlagerbergwerk befindet sich am äußeren Ende der Streckenabdichtungen in den beiden Richtstrecken.

3.2 Endlagerlayout

Für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle im Salz wird im Projekt VerSi weitgehend auf das von der DBE 1998 im Bericht „Aktualisierung des Konzepts Endlager Gorleben“ /DBE 98/ beschriebene Konzept zurückgegriffen. Von den unterschiedlichen in diesem Bericht beschriebenen Alternativkonzepten wird für VerSi die gemischte Lagerung von ausgedienten Brennelementen in Pollux-Behältern in Strecken und von Abfällen aus der Wiederaufarbeitung in CSD-V- und CSD-C-Kokillen in Bohrlöchern betrachtet (die CSD-V-Kokillen werden auch als HAW-Kokillen bezeichnet).

Weiterhin wird in dem Konzept der DBE von 1998 die gemeinsame Endlagerung von wärmeentwickelnden Abfällen zusammen mit Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung in einem Endlager vorgesehen. Die Betrachtung einer Einlagerung nicht-wärmeentwickelnder Abfälle ist jedoch nicht Teil des Projekts VerSi. Aus diesem Grund werden die im Konzept der DBE für die nicht-wärmeentwickelnden Abfälle vorgesehenen Endlagerbereiche im Folgenden nicht betrachtet. Das von der DBE beschriebene Endlagerkonzept wird hier im Hinblick auf die sich daraus ergebenden Daten für eine langzeitsicherheitsanalytische Modellierung kurz zusammengefasst. Weitergehende Beschreibungen, z. . zum Endlagerbetrieb, sind dem Bericht /DBE 98/ zu entnehmen.

Die schematische Struktur des Grubengebäudes ist in Abbildung 3.1 dargestellt. Das Grubengebäude besteht aus einem Infrastrukturbereich, an dem die beiden Tageschächte angeschlossen sind und dem Endlagerbereich, der durch zwei Richtstrecken begrenzt wird. Zwischen den Richtstrecken sind die Einlagerungsfelder angeordnet. Dazu sind die Richtstrecken pro Einlagerungsfeld jeweils mit einem Querschlag verbunden. Ausgehend von den Querschlägen befinden sich die Einlagerungs- bzw. Beschickungsstrecken. Bei der Streckenlagerung der Pollux-Behälter werden die Behälter direkt in den Einlagerungsstrecken endgelagert, während bei der Bohrlochlagerung der CSD-V- bzw. CSD-C-Kokillen die Bohrlöcher ausgehend von den Beschickungsstrecken in senkrechter Richtung nach unten angeordnet sind.

Die Anzahl der im Endlager insgesamt benötigten Einlagerungsfelder bestimmt sich aus deren Kapazität und dem Abfallmengengerüst. Die Aufnahmekapazität für ein einzelnes Einlagerungsfeld wird nachfolgend in Abhängigkeit von der Abfallart beschrieben.

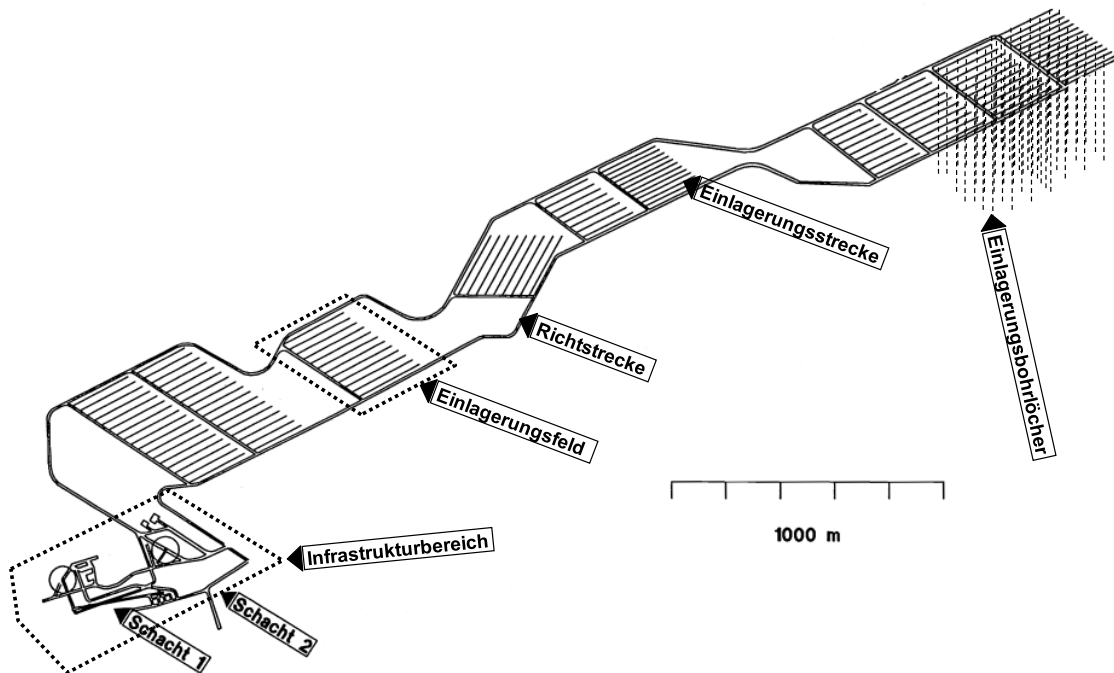


Abb. 3.1: Schematische Struktur des Grubengebäudes (nach /DBE 98/)

Von der DBE wurde für den Standort Gorleben die einsöhlige Einlagerung in einer Teufe von 870 m bzw. alternativ die zweisöhlige Einlagerung in 870 und 970 m Teufe untersucht. Die Einlagerungssohle wird an das Grubengebäude des Erkundungsbergwerks in 840 m Teufe durch Bandberge und Schrägstrecken angebunden. Die bestehenden Infrastrukturräume der Erkundungssohle werden für die Komponenten im betrieblichen Überwachungsbereich der Einlagerungssohle und die Erkundungssohle als Bewetterungsstrecke genutzt. Zur Bewetterung erstellte Rolllöcher zwischen der Erkundungssohle und der Einlagerungssohle werden bei der Stilllegung des Endlagerbergwerks so verschlossen, dass deren Verfüllung der Qualität des gewachsenen Steinsalzes entspricht.

Es werden bei der Errichtung des Endlagerbergwerks Sicherheitsabstände von den Einlagerungsbereichen zu nicht-halitischen Horizonten und den Salzstockflanken eingehalten. Die Sicherheitsabstände zu nicht-halitischen Horizonten betragen für Strecken 50 m und für Bohrlöcher 100 m. Der Sicherheitsabstand zu den Salzstockflanken beträgt 200 m. Durch geophysikalische Messungen bei der Auffahrung wird sicher gestellt, dass die Sicherheitsabstände eingehalten werden.

Die für das Endlager zur Verfügung stehende Fläche und die genaue Anordnung und Ausrichtung der Einlagerungsfelder ergeben sich aus den geologischen Gegebenheiten im Salzstock und können erst nach dessen vollständiger Erkundung endgültig festgelegt werden. Daher wird für das Projekt VerSi vereinfachend eine einsöhlige Einlagerung in einer Teufe von 870 m betrachtet. Einen schematischen Querschnitt durch den Salzstock Gorleben mit der geplanten Lage des Endlagerbereichs zeigt Abbildung 2.4.

Die beiden Tagesschächte haben einen Durchmesser von 7,5 m und eine Tiefe von 910 m unter Rasenhängebank. Für die Schachtverschlüsse wird auf das Konzept des Schachtverschlusses Salzdetfurth zurückgegriffen. Der Schacht wird mit einer setzungsarmen Schottersäule verfüllt. Die Verschlussbauwerke bestehen aus mehreren Dichtelementen aus kompaktierten Bentonit, Salzgrus-Bentonit Mischungen und eventuell Asphaltzwischendichtungen. Es wird eine querschnittsgemittelte Permeabilität des Verschlusses unter Einbezug der verbleibenden Auflockerungszone um das Dichtbauwerk von 10^{-19} m^2 auf einer Dichtungslänge von 50 m angenommen. In beiden Schächten werden jeweils zwei Verschlussbauwerke erstellt; der untere Verschluss mit einem Abstand von 50 m zur Erkundungssohle und somit in einer Teufe von 740 m – 790 m und der obere Verschluss mit einem Abstand von 50 m zum Salzspiegel und somit in einer Teufe von 300 m – 350 m

Der Infrastrukturbereich besitzt insgesamt ein aufgefahreneres Volumen von $120\,000 \text{ m}^3$. Die Länge der Richtstrecken richtet sich nach der Anzahl der benötigten Einlagerungsfelder. Die Querschnitte der beiden Richtstrecken und der Querschläge sind auf Grund von betrieblichen Anforderungen, wie dem Transport der Behälter und des Abraums unterschiedlich. Der Querschnitt der südlichen Richtstrecke und der Querschläge beträgt 23 m^2 mit einem Profil von 6,2 x 3,8 m, und der Querschnitt der nördlichen Richtstrecke beträgt 27 m^2 mit einem Profil von 7,0 x 4,17 m. Die Profile der genannten Strecken sind in Abbildung 3.2 dargestellt. Die Strecken der Umfahrung in der Erkundungssohle weisen identische Längen wie jene der Richtstrecken und einen Querschnitt von 23 m^2 auf.

Für die Streckenverschlüsse kann auf das Konzept der Streckenverschlüsse aus nicht kompaktierbaren Salzbeton für das Endlager Morsleben zurückgegriffen werden. Diese Bauwerke sind chemisch stabil gegenüber Na-Cl-Lösung. Für die Streckenverschlüsse wird eine Länge von 50 m mit einer querschnittsgemittelten Permeabilität von 10^{-19} m^2 angenommen.

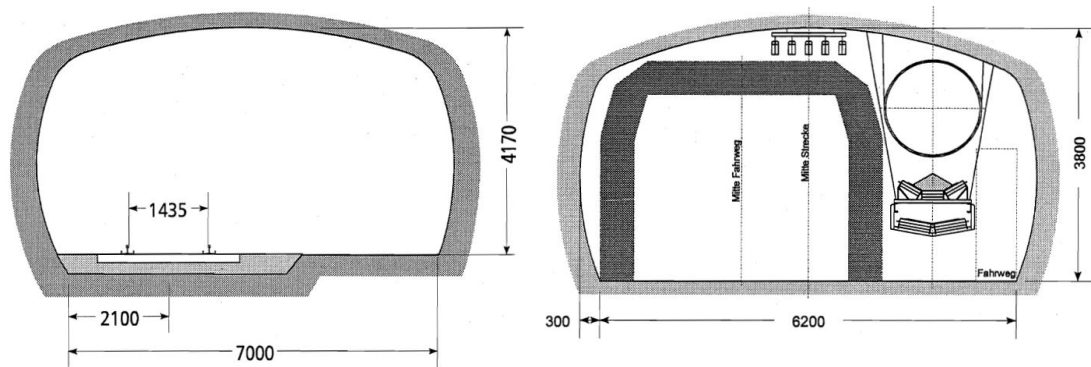


Abb. 3.2: Streckenprofile der nördlichen Richtstrecke (links), sowie der südlichen Richtstrecke und Querschläge (rechts) /DBE 98/

Die Einlagerungs- und Beschickungsstrecken haben auf Grund der Größe der Einlagerungsmaschinen und der Handhabungstechnik einen unterschiedlichen Querschnitt abhängig von der eingelagerten Abfallart. Die Beschickungsstrecken über den Bohrlöchern für die Kokillenlagerung weisen einen Querschnitt von 36 m^2 auf, während der Querschnitt der Einlagerungsstrecken für die Streckenlagerung der Pollux-Behälter lediglich 14 m^2 beträgt.

Die Querschläge sind mit einem Winkel von 120° zu den Richtstrecken angeordnet. Zum Abschluss der einzelnen Einlagerungsfelder sind die Querschläge auf beiden Seiten durch Dammbauwerke von der Richtstrecke abgetrennt. Diese Dammbauwerke haben eine Länge von 12 m und werden aus kompaktierbarem Material mit einer Anfangsporosität von 0,1 erstellt. Die Dämme weisen eine Anfangspermeabilität von $7 \cdot 10^{-16} \text{ m}^2$ auf /SAM 91/.

Die minimalen Abstände zwischen den Abfallbehältern, bzw. den Einlagerungsbohrlöchern bei der Belegung der Einlagerungsfelder mit den Abfallbehältern, ergeben sich aus der Anforderung, dass die Temperatur durch den Wärmeeintrag auf Grund der wärmeentwickelnden Abfälle an der Kontaktfläche von Einlagerungsstrecke oder Bohrloch und der Salzformation 200°C nicht überschreiten soll und werden anhand von Temperaturfeldberechnungen bestimmt.

– Streckenlagerung von Pollux-Behältern:

Für die Einlagerung der Pollux-Behälter sind in dem Konzept /DBE98/ bei einem Abstand der Richtstrecken von 300 m pro Einlagerungsfeld acht parallele Einlagerungsstrecken mit einem Mittelpunktabstand von 36 m zwischen den Strecken und 24 m

zwischen der äußeren Einlagerungsstrecke und der Richtstrecke vorgesehen. Die Länge der Einlagerungsstrecken beträgt 250 m. Pro Einlagerungsstrecke werden 36 Pollux-Behälter mit einem Abstand von je 1 m eingebracht, so dass in einem Einlagerungsfeld insgesamt 288 Pollux-Behälter untergebracht werden können. Das Volumen der geschaffenen Hohlräume innerhalb der Einlagerungsstrecken eines Einlagerungsfeldes für Pollux-Behälter beträgt somit 28 000 m³, abzüglich des Volumens der darin endgelagerten Behälter. Eine schematische Abbildung der prinzipiellen Anordnung der Einlagerungsstrecken zeigt Abbildung 3.3. Für die Einlagerung der in VerSi betrachteten Abfallmengen (siehe Tabelle 3.1) sind insgesamt 7 Einlagerungsfelder für Pollux-Behälter notwendig.

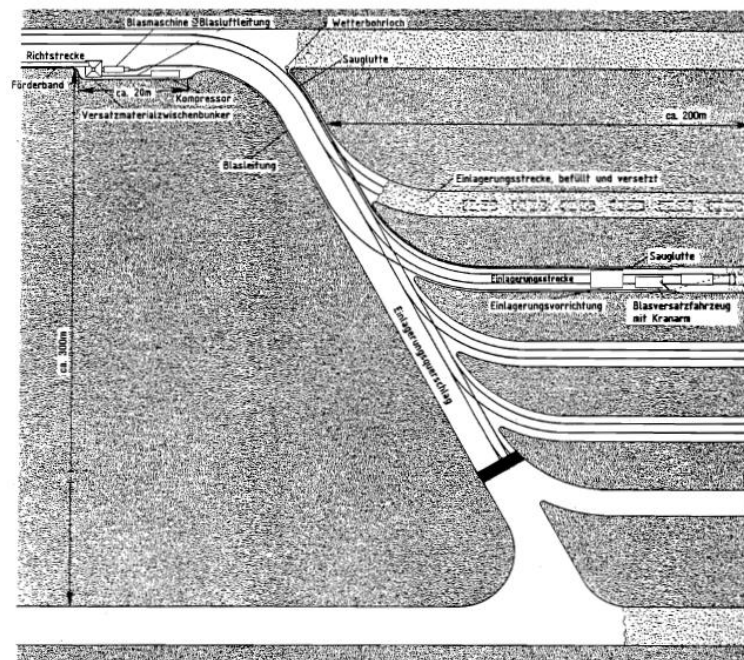


Abb. 3.3: Schematische Abbildung der Anordnung der Einlagerungsstrecken /DBE 98/

– Bohrlochlagerung von Kokillen

Bei der Bohrlochlagerung von verglastem Abfall aus der Wiederaufarbeitung in CSD-V-Kokillen werden in einem Einlagerungsfeld sechs parallele Beschickungsstrecken mit jeweils sechs Bohrlöchern untergebracht. Die maximale Bohrlochlänge beträgt 300 m. Der Mittelpunktabstand zwischen den Beschickungsstrecken beträgt 50,5 m und 24 m zwischen der äußeren Strecke und der benachbarten Richtstrecke. Der Bohrlochabstand beträgt 58,3 m. Das gesamte Einlagerungsfeld hat damit eine Größe von etwa 300 x 300 m. In den Bohrlöchern wird nach je fünf CSD-V-Kokillen ein 0,5 m langes Segment aus Salzgrus zum Lastabtrag eingesetzt. Die obersten 10 m des Bohrlochs werden mit Salzgrus verfüllt. Dadurch können 215 Kokillen pro Bohrloch eingebracht werden. Die maximale Zahl der Kokillen in einem Einlagerungsfeld beträgt damit insgesamt 7 740.

Die CSD-C und CSD-B-Kokillen mit den technologischen Abfällen aus der Wiederaufarbeitung weisen praktisch dieselben Abmessungen auf wie die HAW-Kokillen. Da diese Abfälle aber kaum Wärme produzieren, können die minimalen Abstände der Beschickungsstrecken und Bohrlöcher geringer gewählt werden. Ausschlaggebend sind dabei gebirgsmechanische Anforderungen über die minimale Dicke der Sicherheitspfeiler zwischen den Grubenbauen. Der minimale Abstand zwischen den Strecken und den Bohrlöchern beträgt 20 m. In einem 300 x 300 m großen Einlagerungsfeld können bei 30 m Bohrlochabstand über 20 000 CSD-Kokillen eingelagert werden.

Auf Grund des Ausstiegs aus der Wiederaufarbeitung ausgedienter Brennelemente ist die Menge der Kokillen zur Endlagerung deutlich geringer als im Konzept der DBE ursprünglich angenommen. Die Kapazitäten der Einlagerungsfelder für die Kokillen werden deshalb nicht vollständig ausgeschöpft. Für die CSD-V-Kokillen wird eine Einlagerung von 101 anstatt der maximal möglichen 215 Kokillen pro Bohrloch vorgesehen. Die entsprechende Länge der Bohrlöcher wird damit auf 150 m verkürzt. Für die CSD-C und CSD-B-Kokillen wird eine Einlagerung in einem gemeinsamen Einlagerungsfeld mit 7 Einlagerungsstrecken mit jeweils 7 Bohrlöchern und einer Einlagerung von 124 Kokillen pro Bohrloch vorgesehen. Die Bohrlochlänge im CSD-C Einlagerungsfeld verkürzt sich damit auf 178 m.

Insgesamt sind somit zur Einlagerung des in Tabelle 3.1 aufgeführten Abfallmengenengereütes 9 Einlagerungsfelder notwendig. In dem Konzept der DBE wurden für fast alle Einlagerungsfelder unterschiedliche Abmessungen vorgesehen. Auf Grund des im Pro-

jekt VerSi gegenüber dem Bericht der DBE unterschiedlichen Abfallmengengerüsts wird in jedem Fall ein etwas verändertes Endlagerlayout notwendig. Weiterhin wird abhängig von den Erkundungsergebnissen im Salzstock eventuell eine Anpassung der Geometrie der Einlagerungsfelder vorgenommen. Aus diesem Grund soll hier vereinfachend angenommen werden, dass alle Einlagerungsfelder pro Abfallart die gleiche, oben genannte Dimensionierung aufweisen. Die geometrischen Daten des Grubengebäudes und der einzelnen Einlagerungsbereiche sind in den Tabellen 3.2 und 3.3 zusammengefasst.

Die im Grubengebäude geschaffenen Hohlräume werden bei der Schließung des Endlagers, bzw. einzelner Einlagerungsfelder versetzt. Für die Einlagerungsstrecken für Pollux-Behälter ist dabei ein Schleuder- und bei den sonstigen Strecken im Einlagerungsbereich ein Blas- oder Schüttversatz mit Salzgrus vorgesehen. Der Salzgrusversatz weist einen anfänglichen Porenanteil von 35% auf. Im Infrastrukturbereich ist für das Projekt VerSi eine weitgehende Verfüllung mit nicht kompaktierbaren Versatz der gleichen Porosität vorgesehen. Die Annahme der Verwendung von nicht-kompaktierbaren Versatz erfolgt, um eventuell aus dem Anhydritschichten in den Infrastrukturbereich zutretende Lösungen aufzunehmen.

Tab. 3.1: Abfallmengengerüst der einzelnen Abfallarten

Abfallart	Anzahl im Endlager	Behältervolumen [m ³]
CSD-V-Kokille	3 612	0,18
CSD-C-Kokille	5 436	0,18
CSD-B-Kokille	616	0,18
Pollux-Behälter	1 885	10,2

Tab. 3.2: Geometriedaten des Endlagerbergwerks

Parameter		Wert
Länge der Richtstrecken	[m]	2 650
Abstand der Richtstrecken	[m]	300
Querschnitt nördliche Richtstrecke	[m ²]	27
Querschnitt südliche Richtstrecke	[m ²]	23
Länge der Streckenabdichtung zum Infrastrukturbereich	[m]	50
Länge der Querschläge (Winkel 120°)	[m]	335,4
Länge der Dammbauwerke in den Querschlägen	[m]	12
Querschnitt der Querschläge	[m ²]	23
Volumen Infrastrukturbereich	[m ³]	120 000
Teufe Salzspiegel	[m]	250
Endlagerteufe	[m]	870
Schachtlänge	[m]	910
Schachtdurchmesser	[m]	7,5
Länge Schachtabdichtungen	[m]	50
Oberkante obere Schachtabdichtung	[m]	300
Oberkante untere Schachtabdichtung	[m]	740

Tab. 3.3: Geometriedaten der Einlagerungsfelder

	Einlagerungsfeld		
	Pollux	CSD-V	CSD-C/B
Abstand äußere Strecke von der Richtstrecke [m]	24	24	31
Abstand der Strecken [m]	36	50,5	43
Anzahl Strecken pro Feld	8	6	7
Länge der Strecke [m]	250	300	300
Querschnitt der Strecke [m ²]	14	36	36
Anzahl Behälter / Bohrlöcher pro Strecke [m]	36	6	7
Abstand Behälter / Bohrlöcher in der Strecke [m]	1	54	45
Bohrlochlänge [m]	–	150	178
Anzahl Behälter pro Bohrloch	–	101	124
Maximale Anzahl Behälter pro Einlagerungsfeld	288	3 636	6 076
Anzahl Einlagerungsfelder im Endlager	7	1	1

4 Literatur

- /BOR 03/ Bornemann, O.; Behlau, J.; Keller, S.; Mingerzahn, G.; Schramm, M.: Projekt Gorleben, Standortbeschreibung Gorleben - Teil III: Ergebnisse der Erkundung des Salinars.
Abschlussbericht zum AP G 412110000. BGR, Hannover, 2003 (unveröffentlichter Bericht).
- /BOR 08/ Bornemann, O.; Behlau, J.; Fischbeck, R.; Hammer, J.; Jaritz, W.; Keller, S.; Mingerzahn, G.; Schramm, M.: Standortbeschreibung Gorleben Teil 3. Ergebnisse der über- und untertägigen Erkundung des Salinars.
Geologisches Jahrbuch Reihe C, Band C 73, E.Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 2008.
- /DBE98/ Filbert, W.: Aktualisierung des Konzepts „Endlager Gorleben.“
DBE, Peine, 1998.
- /KLI07/ Klinge, H.; Boehme, J.; Grisseemann, C.; Houben, G.; Ludwig, R.R.; Rübel, A.; Schelkes, K.; Schildknecht, F.; Suckow, A. (2007): Standortbeschreibung Gorleben: Die Hydrogeologie des Deckgebirges des Salzstocks Gorleben.
Geologisches Jahrbuch, Reihe C, Band 71, E.Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- /KOE 07/ Köthe, A.; Hoffmann, N.; Krull, P.; Zirngast, M.; Zwirner, R.: Standortbeschreibung Gorleben Teil 2: Die Geologie des Deck- und Nebengebirges des Salzstocks Gorleben.
Geologisches Jahrbuch, Reihe C, Band 72, E.Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 2007.
- /RUE 10/ Rübel, A; Mönig, J: Prozesse, Modellkonzepte und sicherheitsanalytische Rechnungen für ein Endlager im Salz.
Bericht zum Vorhaben WS 2044, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-A-3521, 2010.

- /SAM91/ Buhmann, D.; Nies, A.; Storck, R.: Analyse der Langzeitsicherheit von Endlagerkonzepten für wärmeerzeugende radioaktive Abfälle.
GSF Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH, GSF 27/91,
Neuherberg, 1991.
- /SAN 01/ Sander, W.; Herbert, H.J.: Wassergehaltsbestimmung am Steinsalz (Erkundungssohle).
Abschlußbericht für den Zeitraum 01.01.1998 - 31.12.2000. PSP Element
9G 412210-00. Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS)
mbH, Braunschweig, 2001 (unveröffentlichter Bericht).

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1: Vereinfachter geologischer Schnitt durch den Salzstock Gorleben /KLI 07/	2
Abb. 2.2: Hydrogeologischer Schnitt (oben) durch das und Süß/Salzwasser- verteilung (unten) im Deckgebirge über dem Salzstock Gorleben /KLI 07/	3
Abb. 2.3: Verbreitung der Grundwasseringeleiter Hamburg-Ton und Lauen- burger-Ton-Komplex /KLI 07/.....	4
Abb. 2.4: Vereinfachter Schnitt durch den Salzstock Gorleben /BOR 03/.....	5
Abb. 3.1: Schematische Struktur des Grubengebäudes (nach /DBE 98/).....	12
Abb. 3.2: Streckenprofile der nördlichen Richtstrecke (links), sowie der südli- chen Richtstrecke und Querschläge (rechts) /DBE 98/	14
Abb. 3.3: Schematische Abbildung der Anordnung der Einlagerungsstrecken /DBE 98/	15

Tabellenverzeichnis

Tab. 3.1: Abfallmengengerüst der einzelnen Abfallarten.....	17
Tab. 7.1: Geometriedaten des Endlagerbergwerks.....	18
Tab. 7.2: Geometriedaten der Einlagerungsfelder	18

**Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH**

Schwertnergasse 1
50667 Köln
Telefon +49 221 2068-0
Telefax +49 221 2068-888

Forschungszentrum
85748 Garching b. München
Telefon +49 89 32004-0
Telefax +49 89 32004-300

Kurfürstendamm 200
10719 Berlin
Telefon +49 30 88589-0
Telefax +49 30 88589-111

Theodor-Heuss-Straße 4
38122 Braunschweig
Telefon +49 531 8012-0
Telefax +49 531 8012-200

www.grs.de