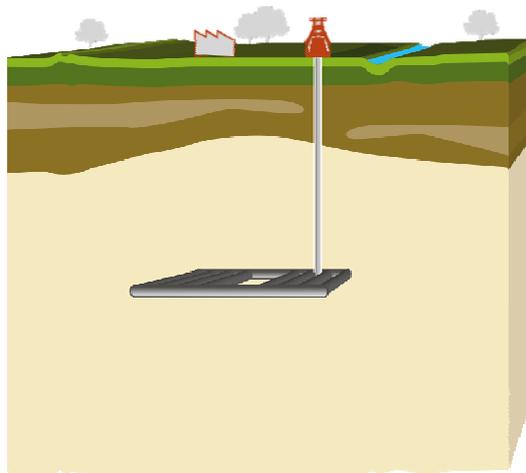


## Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in Deutschland

### Anhang Endlagerbetrieb

#### Komponenten und Abläufe eines Einlagerungsbetriebes



**30.09.2008**

**Bearbeiter:**

**DBE TECHNOLOGY  
GmbH:**

Ziegenhagen, J.

**Öko-Institut e.V.:**

Schmidt, G.

**Braunschweig / Darmstadt  
September 2008**

**Anhang zu GRS-247  
ISBN 978-3-939355-22-9**

Das diesem Bericht zugrunde liegende FE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie unter den Kennzeichen 02E9783 und 02E9793 durchgeführt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Komponenten und Abläufe eines Einlagerungsbetriebes</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Tagesanlagen</b> .....	<b>6</b>
3.1	Umschlagsanlage.....	7
3.2	Pufferhallen .....	9
3.3	Bereitstellungs- und Transporthalle .....	10
3.4	Dekontaminations- und Reparaturhalle.....	10
3.5	Weitere übertägige Einrichtungen .....	11
3.6	Schachthalle für Gebindetransport.....	11
3.7	Handlungsabläufe über Tage .....	14
<b>4</b>	<b>Einlagerung</b> .....	<b>16</b>
4.1	Einlagerungskonzepte in ausgewählten Ländern.....	16
4.2	Einlagerungskonzepte in Deutschland .....	18
4.3	Einlagerungsvarianten für wärmeentwickelnde Abfälle.....	20
<b>5</b>	<b>Verfüll- und Versatzverfahren</b> .....	<b>30</b>
<b>6</b>	<b>Zusammenwirken der Endlagerkomponenten</b> .....	<b>32</b>
<b>7</b>	<b>Entsorgung interner radioaktiver Abfälle</b> .....	<b>33</b>
<b>8</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>35</b>



## **1 Einleitung**

Der Betrieb eines Endlagers umfasst einerseits die betrieblichen Anlagen und Einrichtungen, andererseits die betrieblichen Handhabungsvorgänge. In diesem Anhang wird die Anlieferung von Abfallgebinden, deren Pufferlagerung, den Transport nach untertage und deren Einlagerung beschrieben. Die einzelnen Komponenten sind nach ihren Aufgaben und Auslegungsprinzipien dargestellt und die Handhabungsvorgänge teils integriert, teils in eigenen Unterkapiteln erläutert. Soweit Informationen vorlagen, wurden die technischen Einrichtungen anhand von Fotos oder Grafiken veranschaulicht.

Die meisten Beispiele stammen dabei aus dem derzeitigen Planungsstand für ein Endlager im Salzstock Gorleben. Über diesen Salzstock liegen im Rahmen seiner langjährigen Eignungserkundung Ergebnisse vor, auf deren Basis auch vorläufige technische Konzepte entwickelt wurden.

Kapitel 2 gibt zunächst einen Überblick über die Komponenten und Abläufe eines Einlagerungsbetriebes.

Die einzelnen Anlagen über Tage sind in Kapitel 3 behandelt, abschließend sind die betrieblichen Handlungsabläufe beschrieben.

Kapitel 4 beschreibt die Anlagen und Abläufe bei der Einlagerung der Abfälle. Dabei sind zunächst die übergreifenden Aspekte („Einlagerungskonzepte“) beschrieben, anschließend wird nach den verschiedenen Varianten unterschieden, die in Deutschland für Salz geplant wurden.

Nach Abschluss der Einlagerung werden die betreffenden Strecken des Einlagerungsbereiches verfüllt, die betrieblichen Verfüll- und Versatzverfahren sind in Kapitel 5 beschrieben.

Das Zusammenwirken der Endlagerkomponenten während des Betriebs muss sorgfältig geplant und analysiert werden. Kapitel 6 zeigt, wie dieses Zusammenwirken nach heutigem Stand erfolgt.

Wie in jeder kerntechnischen Anlage fallen auch in einem Endlager betriebliche radioaktive Abfälle in geringen Mengen an. Deren Entsorgung ist in Kapitel 7 behandelt.

## 2 Komponenten und Abläufe eines Einlagerungsbetriebes

Die derzeit vorliegenden nationalen und internationalen Konzepte für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in geologischen Formationen weisen eine Reihe von Unterschieden auf, beispielsweise bei dem einzulagernden Inventar und dem entsprechenden Einlagerungskonzept. Ungeachtet dessen können Handlungsabläufe genannt werden, die grundsätzlich bei allen Endlagerkonzepten ablaufen. (Abb. 1). Dabei wird in Aktivitäten über und unter Tage unterschieden.

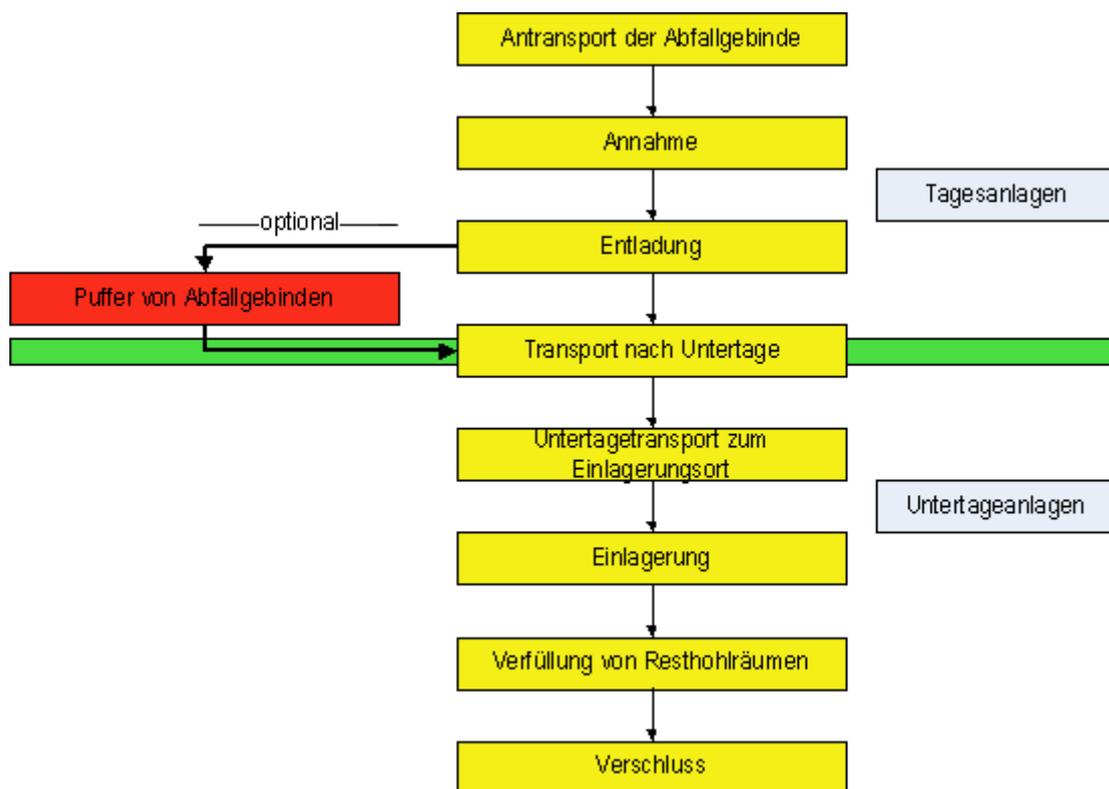


Abb. 1 Grundsätzliche Handlungsabläufe der Einlagerung radioaktiver Abfälle in ein geologisches Endlager nach Funktionen

In die konkrete Ausgestaltung von Komponenten und Handlungsabläufen eines Endlagers geht eine Reihe von Einflüssen ein, u.a. das Wirtsgestein und seine Eigenschaften, standortspezifische Bedingungen, die Art der Abfälle und ihre Verpackung. Zusätzlich bestehen technische Gestaltungs- und Optimierungsspielräume, z.B. für die Art des Transports nach untertage (z.B. Schacht- oder Rampenbeförderung), für die Einlagerungsart der Endlagerbehälter (z.B. Einlagerung in Bohrlöcher oder in Strecken), ob eine Rückholbarkeit beabsichtigt ist oder nicht. Diese und andere Einflüsse und die verfügbaren technischen Gestaltungsspielräume

bedingen eine vergleichsweise große Vielfalt bei der konkreten Ausgestaltung von Komponenten und Handlungsabläufen. Da eine vollständige Beschreibung aller Varianten sehr umfangreich wäre, werden die Überlegungen zur Auslegung und technischen Gestaltung anhand ausgewählter Beispiele beschrieben.

Für die Auslegung der Tagesanlagen ist weiterhin die Verpackung der verschiedenen Abfallarten zu berücksichtigen. Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung werden in selbstabschirmenden Endlagergebinden angeliefert. Wärmeentwickelnde Abfälle wie abgebrannte Brennelemente oder Glaskokillen werden in einer speziellen Anlage, die sich auf dem Endlagergelände oder an einem anderen Standort befinden kann, in endlagerfähige Behälter umgeladen. Das bedeutet z.B., dass bei der direkten Endlagerung von ausgedientem Kernbrennstoff in dieser Anlage aus den in Transportbehältern angelieferten Brennelementen die Brennstäbe gezogen werden und entweder in selbstabschirmende Endlagerbehälter (POLLUX-Behälter) oder in sogenannte Brennstabkokillen (BSK) eingeladen werden. Die Brennstabkokillen werden ihrerseits in Transportbehältern, sogenannte Transferbehälter, verpackt, um den Transport zum Einlagerungsort im Endlager und die Handhabung bei der Einlagerung zu ermöglichen. Kokillen mit hochradioaktiven wärmeentwickelnden Abfällen aus der Wiederaufarbeitung werden gleichfalls in abgeschirmte Transferbehälter umgeladen.

Alle geologischen Endlager verfügen über Tagesanlagen und untertägige Anlagen. Im weiteren werden am Beispiel der Konzeption für Gorleben die Komponenten und Handlungsabläufe bei der Einlagerung in ein geologisches Endlager für radioaktive Abfälle erläutert, wobei davon ausgegangen wird, dass die Anlieferung der Abfälle zum Endlager entweder in selbstabschirmenden Endlagerbehältern oder in abgeschirmten Transferbehältern erfolgt.

### 3 Tagesanlagen

Die Tagesanlagen umfassen alle Einrichtungen über Tage, die für den Betrieb des untertägigen Endlagers erforderlich sind. Abb. 2 zeigt beispielhaft die konzeptionelle Anordnung der Tagesanlagen Gorleben. Der Salzstock an diesem Standort befindet sich in Erkundung, die Darstellung zeigt den derzeitigen Planungsstand.

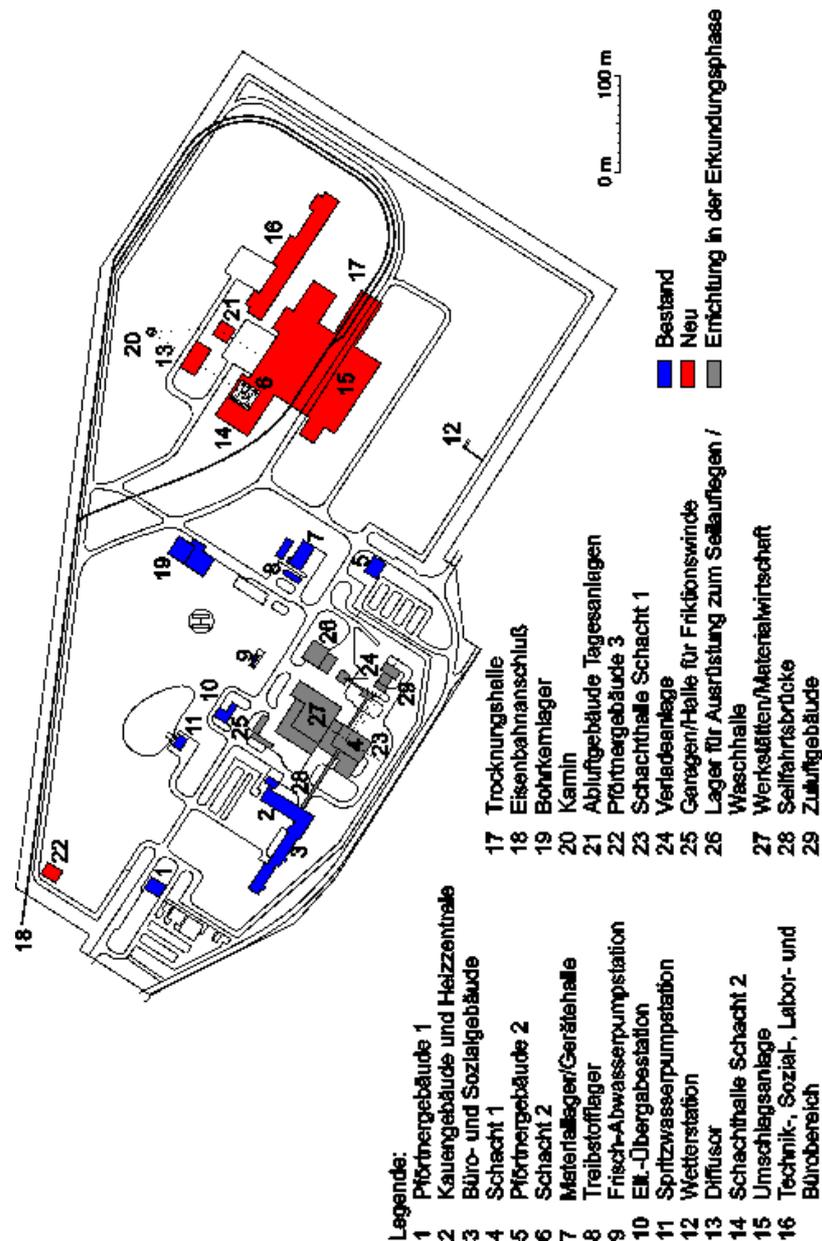


Abb. 2 Beispiel der konzeptionellen Anordnung der Tagesanlagen für den Standort Gorleben

Die wesentlichsten Funktionen der Tagesanlagen sind die Annahme, Entladung und Pufferung der Abfallgebände sowie deren Transport nach Untertage. Die wichtigsten

Einrichtungen der Tagesanlagen sind die Umschlagsanlage für Abfallgebände, die Schachthallen sowie die Hauptgrubenlüfteranlage. Die Lüfteranlage eines Endlagers unterscheidet sich nicht wesentlich von im Untertagebergbau üblichen Anlagen, sie wird daher im Weiteren nicht mehr detaillierter behandelt.

Des Weiteren gehören zu den Tagesanlagen die erforderlichen Technik-, Sozial-, Labor- und Büroeinrichtungen, die Lkw- und Waggontrocknungsanlage sowie die Verkehrsanlagen.

Die übertägigen Einrichtungen eines Endlagers werden an das öffentliche Straßennetz angeschlossen. Das Straßennetz der Tagesanlagen ist entsprechend den Transportanforderungen für die Errichtung und den Betrieb des Endlagers ausgelegt. Weiterhin ist das Endlager an das öffentliche Eisenbahnstreckennetz angeschlossen. Der Streckenanschluss und die innerbetrieblichen Gleisanlagen richten sich nach den Anforderungen des Antransportes und des innerbetrieblichen Transports, die aus den zu transportierenden Lasten und der Häufigkeit der Transporte resultieren.

Die Komponenten der Tagesanlagen und Handlungsabläufe werden im Wesentlichen anhand des Gorlebenkonzepts erläutert /FIL 98/, weil hier alle wesentlichen Einrichtungen und Anlagen zum Transport und zur Einlagerung beschrieben sind. Grundsätzlich würde auch an einem anderen Standort ein ähnlicher Aufbau der obertägigen Anlagen erfolgen.

### **3.1 Umschlagsanlage**

Die Umschlagsanlage hat folgende Hauptfunktionen:

- Annahme, Entladen und Kontrolle der Abfallgebände,
- Pufferung von Abfallgebänden,
- Vorbereitung von Abfallgebänden für den Transport nach Untertage und für die Einlagerung,
- Innerbetrieblicher Transport,
- Durchführung ggf. notwendiger Reparaturarbeiten und Oberflächendekontamination.

Die Umschlagsanlage wird zweckmäßigerweise nach dem Modulprinzip aufgebaut, d. h. bestimmte Funktionsbereiche und Funktionsabläufe werden räumlich getrennt. Damit können veränderte Randbedingungen, wie z. B. geändertes Inventar des

## Anhang Endlagerbetrieb

Endlagers, sowie die erheblichen Unterschiede hinsichtlich der zu transportierenden Mengen und Massen der Abfallgebinde sowie der Funktionsabläufe von der Anlieferung bis zur Verbringung nach Untertage, in den Planungen der Umschlagsanlage berücksichtigt werden. Bei der Auslegung der Umschlagsanlage ist auch die Möglichkeit eines parallelen Umschlags unterschiedlicher Gebindearten zu berücksichtigen.

Die Umschlagsanlage setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen:

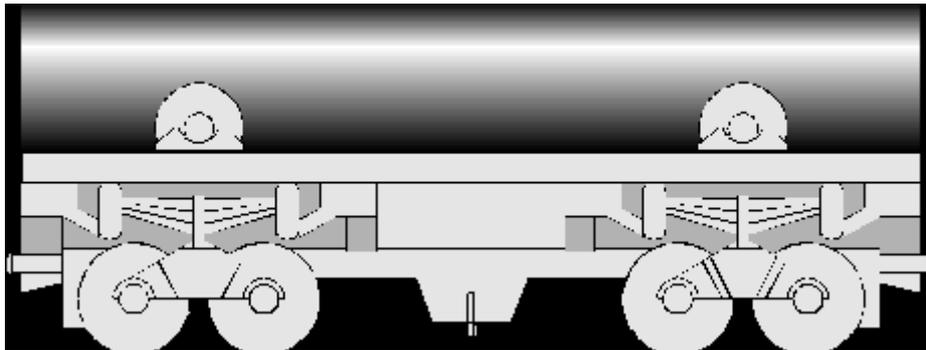
- Entladehalle,
- Pufferhalle für wärmeentwickelnde Abfälle,
- Bereitstellungs- und Transporthalle,
- Halle für Dekontamination und Reparaturen, einschließlich Sammlung und Behandlung innerbetrieblicher radioaktiver Abfälle,
- Werkstatt,
- Personaleingangsbereich,
- Technik.

Die Entladehalle wird von dem Zufahrtsgleis und der Zufahrtsstraße in Längsrichtung durchlaufen. Die Halle ist in Funktionsbereiche für die Entladung der verschiedenen Abfallgebindearten unterteilt. Quer durch die Funktionsbereiche verlaufen Brückenkrane mit einer Nutzlast z.B. von 95 t bzw. 40 t, entsprechend des Gewichts der zu handhabenden Gebinde. Beide Kräne können von der jeweiligen Pufferhalle bis in die Bereitstellungs- und Transporthalle verfahren werden.

In den jeweiligen Funktionsbereichen erfolgt die Eingangskontrolle (Sichtkontrolle) der eingehenden Gebinde. Mit dem Brückenkran werden die Abfallgebinde entladen und in den entsprechenden Übergabebereich transportiert, wo die Eingangskontrolle des Strahlenschutzes durchgeführt wird. Nach der Freigabe durch den Strahlenschutz erfolgt mit dem entsprechenden Brückenkran der Transport in den Transportbereich der Bereitstellungs- und Transporthalle zur Einlagerung. In der Entladehalle werden daraufhin die Freigabemessung und Abfertigung der ausgehenden leeren Transportfahrzeuge vorgenommen.

### 3.2 Pufferhallen

In den Pufferhallen für Gebinde mit wärmeentwickelnden Abfällen werden die Gebinde, die bei Störungen nicht direkt von der Entladehalle zur Einlagerung weitertransportiert werden können, kurzzeitig gepuffert. Des Weiteren besteht die Möglichkeit der Zusammenstellung von Gebindegruppen gleichartiger Gebinde, falls dies aus praktischen Erwägungen der Einlagerung erforderlich ist.



max. Masse des Plateauwagens	20 t
max. Masse des Behälters	65 t
max. Masse der Transporteinheit	85 t
max. Länge	6300 mm
max. Breite	2000 mm
Höhe mit Behälter	25000 mm

Abb. 3 Skizze eines Plateauwagens mit POLLUX-Behälter

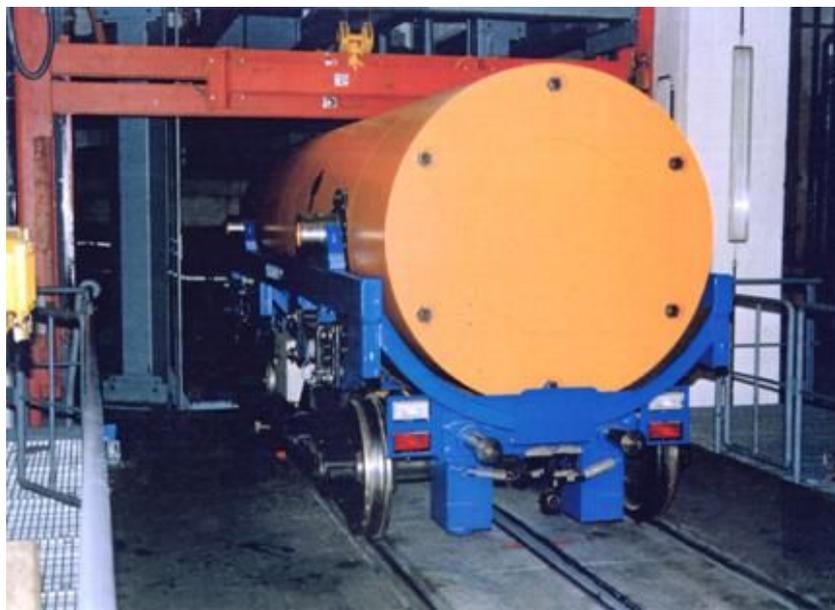


Abb. 4 Foto eines Plateauwagens mit POLLUX-Modellbehälter in einem Versuchsstand

Für die Einlagerung werden die Gebinde mit dem entsprechenden Brückenkran aus der Pufferhalle über die Entladehalle und den Übergabebereich in den

Transportbereich der Bereitstellungs-/Transporthalle transportiert und auf gleisgebundene, offene Transportfahrzeuge, z. B. Plateauwagen (s. Abb. 3 und 4) verladen.

Für den innerbetrieblichen Transport werden verschiedene Typen von Plateauwagen eingesetzt:

- Plateauwagen für Transferbehälter,
- Plateauwagen für POLLUX- (s. Abb. 3 und 4) und Castor-HTR-Behälter.

### **3.3 Bereitstellungs- und Transporthalle**

Die Bereitstellungs- und Transporthalle ist in den Transportbereich und die Übergabebereiche der Abfallströme geteilt. Die Halle ist mit einer Gleisanlage sowie einer Gleisfördereinrichtung für den Transport der Plateauwagen ausgerüstet. In der Bereitstellungs- und Transporthalle werden die Gebinde auf innerbetriebliche Plateauwagen umgeladen. Die umgeladenen Gebinde werden in die Schachthalle transportiert. Von dort werden die Gebinde entweder in die Schachthalle oder in die entsprechende Pufferhalle verbracht.

Defekte oder kontaminierte Transferbehälter werden zur Dekontaminations- und Reparaturhalle transportiert. Vom Transportbereich der Halle können Ausrüstungen mittels Plateauwagen in die Werkstatt transportiert werden. Im Transportbereich der Halle werden Plateauwagen abgestellt. Des Weiteren können hier Vorrichtungen für den Krantransport der Gebinde, wie z. B. Lastanschlagmittel, Abdeckhauben u. a. abgestellt werden.

### **3.4 Dekontaminations- und Reparaturhalle**

In der Dekontaminations- und Reparaturhalle erfolgt eine ggf. erforderliche Dekontamination von eingehenden Abfallgebinden, aus dem Schacht rückgeführter Transferbehälter sowie von Plateauwagen. Des Weiteren werden erforderliche Reparaturen an vorgenannten Gebinden, Behältern und Ausrüstungen, mit Ausnahme der Plateauwagen, vorgenommen. Wartungs- und Reparaturarbeiten an Plateauwagen werden nach erforderlicher Dekontamination in der Werkstatt durchgeführt. Die dabei entstandenen festen und flüssigen radioaktiven Abfälle werden gesammelt und dem Bereich für die Behandlung radioaktiver Betriebsabfälle zugeführt. Dieser Bereich ist für die Sammlung, Behandlung und Konditionierung innerbetrieblicher fester und

flüssiger radioaktiver Abfälle bestimmt. Die konditionierten Abfälle werden von hier zur Endlagerung abtransportiert.

### **3.5 Weitere übertägige Einrichtungen**

In der Werkstatt werden mechanische und elektrotechnische Wartungs- und Reparaturarbeiten an den Ausrüstungen der Umschlagsanlage sowie die Fertigung von Neuteilen durchgeführt. Die Werkstatt ist entsprechend der dort auszuführenden Arbeiten mit Handhabungs- und Reparaturtechnik ausgestattet und kann mit Plateauwagen befahren werden.

Der Personaleingangsbereich ist für den Zugang des Personals zur bzw. aus der Umschlagsanlage bestimmt. Das Gebäude umfasst die Zutritts- und Ausgangskontrolle, Umkleieräume, sanitäre Einrichtungen, Strahlenschutzkontrolle und ist entsprechend den Vorgaben des Strahlenschutzes in Strahlenschutzbereiche eingeteilt. Des Weiteren befindet sich hier die Wäscherei.

In dem Bereich Technik werden die Anlagen zur Energie- und Medienversorgung, die Leittechnik und die Lüftungszentrale der Umschlagsanlage zusammengefasst.

### **3.6 Schachthalle für Gebindetransport**

Die Schachthalle schließt unmittelbar an den Transportbereich der Umschlagsanlage an. Sie dient dem Zugang zum Schacht für den Gebindetransport nach unter Tage. Der Schacht ist mit einer Hauptseilfahrtanlage und einer mittleren Seilfahrtanlage ausgerüstet. Über die Hauptseilfahrtanlage des Schachtes erfolgt der Transport der Abfallgebände auf Plateauwagen nach unter Tage sowie die Rückführung der entladenen Transportmittel (Plateauwagen, Einzeltransport- und Transferbehälter) von unter nach über Tage. Außerdem besteht die Möglichkeit, die große Nutzlast dieser Anlage für gelegentlich erforderliche Schwerlasttransporte (z. B. schwere Ladefahrzeuge für den Abtransport) zu nutzen.

Die mit Abfallgebänden beladenen Plateauwagen werden in die Schachthalle gefahren und auf der Zulaufseite über Schachtschleusen mittels der Schachtbeschickungsanlage auf das Fördergestell geschoben. Auf der Ablaufseite werden die rückgeführten leeren Plateauwagen, Einzeltransport- und Transferbehälter oder mit Behältern mit betrieblichen Abfällen beladenen Plateauwagen vom Fördergestell abgezogen und über die Schachtschleuse in den Transportbereich der Umschlagsanlage transportiert. Abb. 5 zeigt einen Demonstrationsversuch des Schachttransportes von POLLUX-

Behältern, mit dem 1992 das Be- und Entladen des Förderkorbes im Maßstab 1:1 erfolgreich erprobt wurde.

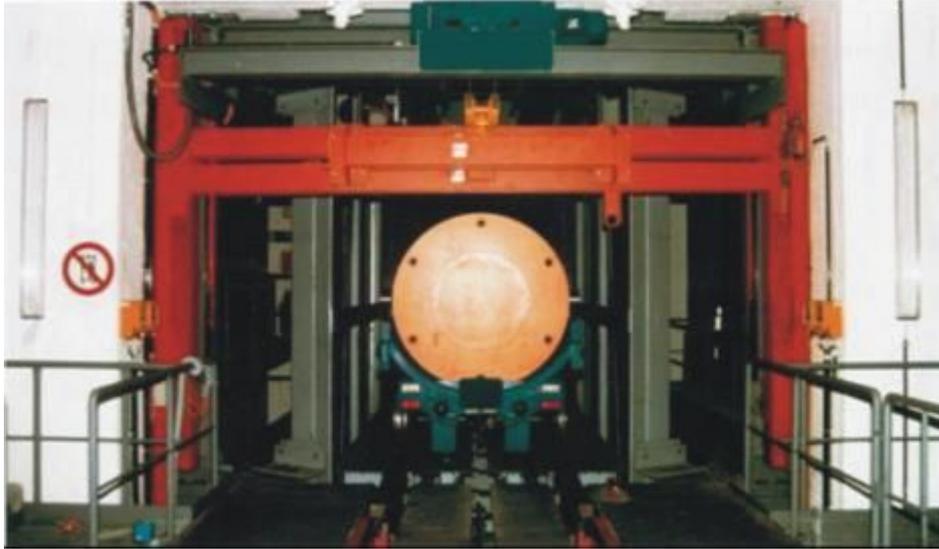


Abb. 5 Demonstration des Schachttransportes von POLLUX-Behältern

Für die Auslegung der Einrichtungen für den Schachttransport sind betriebstechnische und sicherheitstechnische Anforderungen ausschlaggebend. Wesentliche betriebstechnische Anforderungen sind:

- Art und Anzahl der pro Betriebsjahr und der über die Betriebsdauer des Endlagers zu befördernden Gebinde,
- Abmessungen und Last der zu befördernden Gebinde und Maschinenteile.

Hauptsächliche sicherheitstechnische Anforderungen sind:

- Standsicherheit gegen seismische Einwirkungen,
- Brandschutzmaßnahmen für tragende Bauteile sowie Elektroräume und Kanäle,
- Vermeidung des Absturzes von Plateauwagen und Transporteinheiten in den Schacht,
- Vermeidung des Absturzes von schweren Lasten auf eine Transporteinheit,
- Vermeidung von Kollisionen des Fördergestells mit Schachteinbauten oder mit dem Gegengewicht,
- Minimierung der Strahlenexposition des Betriebspersonals,
- Überführung der Anlage in einen sicheren Zustand bei betrieblichen Störungen.

Eine Prinzipdarstellung der Schachtförderanlage ist in Abb. 6 gezeigt und Hauptkenndaten der Schachtförderanlage sind in der Tab. 1 zusammengestellt.

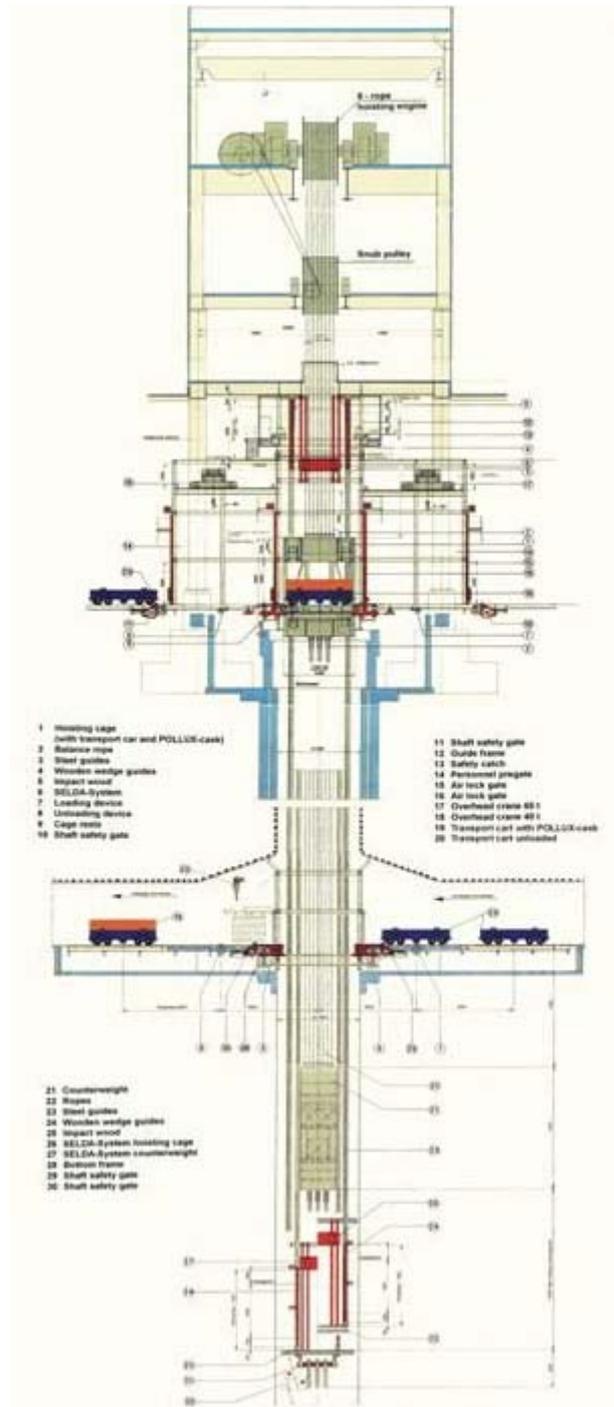


Abb. 6 Auslegung der Schachtförderanlage für den Gebindetransport (Gorlebenkonzept)

Tab. 1 Gorlebenkonzept - Auslegungsdaten der Schachtförderanlage (Filbert, W. 1998)

<b>Eigenschaft</b>	<b>Auslegungsmerkmale</b>
Teufe	870 m
Art der Förderung	Förderung mit Großkorb und Gegengewicht nach Koepe
Nutzlast bei - Normallastförderung - Schwerlastförderung	30 t 85 t
Abmessungen der Schwerlast - Höhe - Breite - Länge	ca. 2.000 mm 2.000 mm 6.300 mm
Fördergeschwindigkeiten - Normallast - Schwerlast	12 m/s 5 m/s
Anordnung der Fördermaschine	Turm
Seillast S1 (Förderturm)	ca. 214,2 t
Seillast S2 (Gegengewichtsturm)	ca. 171,7 t
Überlast	42,5 t
Anzahl der Tragseile	8
Seildurchmesser	ca. 50 mm
Rechnerische Seilsicherheit bei Förderung	7,27fach
Geforderte Seilsicherheit	6,72fach
Anzahl der Unterseile	3

### 3.7 Handlungsabläufe über Tage

Die Anlieferung der Transporteinheiten erfolgt per Bahn bzw. per Lkw. Auf dem Endlagergelände außerhalb der Umschlagsanlage werden die Transporteinheiten erforderlichenfalls in Trocknungsanlagen für Lkw bzw. für Bahnwaggons getrocknet. Hier wird orientierend die Ortsdosisleistung gemessen. Anschließend wird in der Umschlagsanlage die Eingangskontrolle (Sichtprüfung, Identifikation und Dokumentenkontrolle) vorgenommen. Die Gebinde werden mit einem Brückenkran entladen. Danach erfolgt die Strahlenschutzmessung (Oberflächenkontamination, Ortsdosisleistung). Bei Gebinden mit wärmeentwickelnden Abfällen wird außerdem die Behälteraußentemperatur gemessen. Dann erfolgt die Umladung auf innerbetriebliche Transportmittel mit anschließendem Transport zum Schacht oder zu den Pufferflächen in der Umschlagshalle. Die Bewegung der Plateauwagen innerhalb der Umschlagsanlage und zum Schacht erfolgt mit einer Flurförderanlage.

Die Endlagergebinde und Transferbehälter werden in der Regel direkt nach Anlieferung und den o. g. Kontrollen nach Untertage gefördert. In Sonderfällen, z. B. bei Störungen

## Anhang Endlagerbetrieb

im Betriebsablauf, werden die angelieferten Gebinde zur entsprechenden Pufferfläche transportiert und bis zur Wiederaufnahme des Betriebs vorübergehend dort abgestellt.

Sind bei den Eingangskontrollen an Gebinden Defekte festgestellt worden, können kleine Reparaturen, eine Dekontamination oder die Anbringung von Zusatzverpackungen durchgeführt werden.

## 4 Einlagerung

Bei den bekannten internationalen Endlagerkonzepten wird in der Regel die Einlagerung unterschiedlicher Abfallarten (langlebige schwachaktive Abfälle, MAW, verglaste hochradioaktive Abfälle, Brennelemente) aus sicherheitstechnischen und betrieblichen Erwägungen in räumlich voneinander getrennten Endlagern bzw. Endlagerbereichen vorgesehen.

### 4.1 Einlagerungskonzepte in ausgewählten Ländern

Die Endlagerkonzepte der verschiedenen Länder sehen unterschiedliche Arten der Einlagerung der Abfallgebände vor. Die Tab. 2 zeigt eine Übersicht über verschiedene Einlagerungskonzepte in unterschiedlichen Gebirgsformationen.

Tab. 2 Einlagerungskonzepte ausgewählter Länder

Land	Gebirgsformation	Abfallkategorie	Einlagerungskonzept
Belgien	Ton	Brennelemente	Streckenlagerung
		Hochradioaktive und langlebige mittelradioaktive Abfälle	Stapelung in Strecken
Spanien	Granit	Brennelemente/Hochradioaktive Abfälle	Streckenlagerung
		Mittelradioaktive Abfälle	Silo
Frankreich	Ton	Langlebige schwach- und mittelradioaktive Abfälle	Einlagerungskammern
		Brennelemente Hochradioaktive Abfälle	Horizontale Bohrlöcher (ca. 40 m)
Japan	Sediment o. Kristallin	Hochradioaktive Abfälle	Horizontale o. vertikale Bohrlöcher sowie Streckenlagerung
Schweden	Granit	Schwachradioaktive Abfälle	Einlagerungskammern
		Mittelradioaktive Abfälle	Silo
		Langlebige schwach- und mittelradioaktive Abfälle	Einlagerungskammern
		Brennelemente	Vertikale Kurzbohrlöcher (KBS-3)
Niederlande	Salz	Hochradioaktive Abfälle	Horizontale Kurzbohrlöcher
Russland	Granit	Brennelemente/stark wärmeentwickelnde hochradioaktive Abfälle	Vertikale Bohrlöcher (bis ca. 40 m)
		Langlebige mittelradioaktive Abfälle	Einlagerungskammern

## Anhang Endlagerbetrieb

Als Illustration der Einlagerung in horizontale Bohrlöcher in Tonstein zeigt Abb. 7 die Endlagerung von ausgedienten Brennelementen gemäß der bis Herbst 2007 verfolgten französischen Endlagerplanung. Die Planung befindet sich z. Zt. in grundlegender Überarbeitung, ihre Beschreibung erfolgt daher hier beispielhaft und unter dem Vorbehalt möglicher künftiger Änderungen.

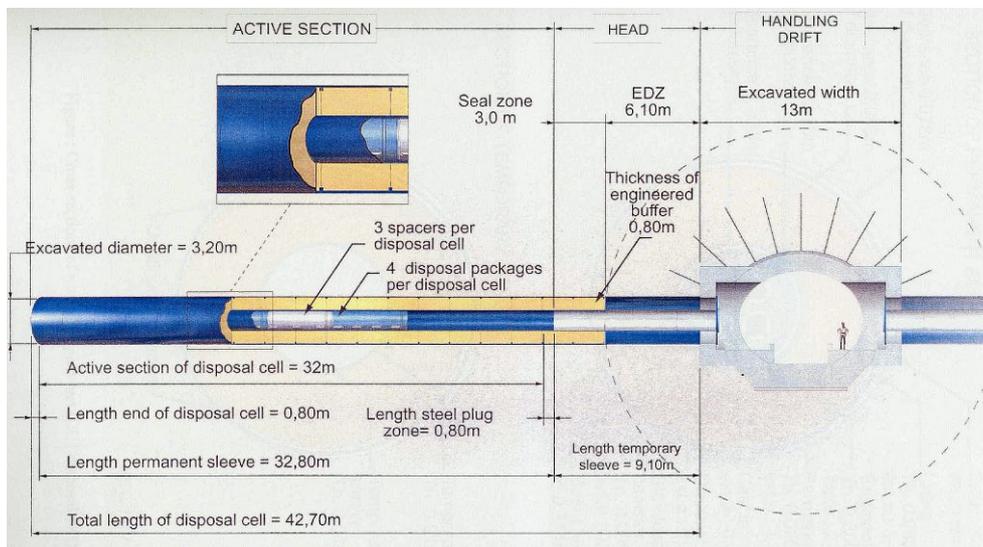


Abb. 7 Frankreich – Endlagerung von ausgedienten Brennelementen in horizontalen Bohrlöchern in einer Tonformation /ZIE 05/

Die Länge der Bohrlöcher beträgt ca. 40 m. Davon sind ca. 30 für die Einlagerung der Gebinde vorgesehen. Der Abstand zwischen den Bohrlochachsen beträgt zwischen 22 m und 24 m in Abhängigkeit von der Wärmeleistung der Gebinde. Das Bohrloch ist mit einem Metallrohr verkleidet. Die Wandstärke des Metallrohres beträgt 30 mm bzw. 25 mm. Das Metallrohr ist perforiert, um einen Zutritt von Feuchtigkeit und damit die Sättigung des Bentonitpuffers zu ermöglichen. Die Perforierung ist so minimal wie möglich gehalten, um die mechanische Standfestigkeit möglichst gering zu beeinflussen. In das Metallrohr wird eine Bentonitauskleidung eingebracht, die aus zylindrischen Bentonitringen mit einer Wandstärke von 800 mm zusammengesetzt wird.

Im Innern der Bentonitauskleidung befindet sich das Einlagerungsrohr aus dem gleichen Kohlenstoffstahl, aus dem die Endlagerbehälter gefertigt werden, mit einem Innendurchmesser von 1320 mm bzw. 716 mm und einer Wandstärke von 25 mm. Die Standfestigkeit des Rohres bezüglich Korrosion und Druck wird auf 1000 Jahre ausgelegt.

In einem Bohrloch werden 3 bis 4 BE-Gebinde eingelagert. Zwischen den BE-Gebinden werden Abstandshalter eingebracht. Das Einbringen der Gebinde soll mit

Luftkissentransport gekoppelt mit einem Schieberoboter erfolgen. Mit Gebinden gefüllte Einlagerungsröhren werden mit einem Metallpfropfen und einem Bentonit-Beton-Stopfen verschlossen.

Das in der Schweiz entwickelte Konzept für die Endlagerung in Opalinuston (Tonstein) zeigt eine ähnliche Variante.

In diesem Konzept sind die Einlagerungshohlräume mit 6,1% Gefälle schräg angeordnet. Die Behälter werden hier auf Auflagern aus Bentonitblöcken abgelegt, der Einlagerungshohlraum mit Bentonitgranulat verfüllt.

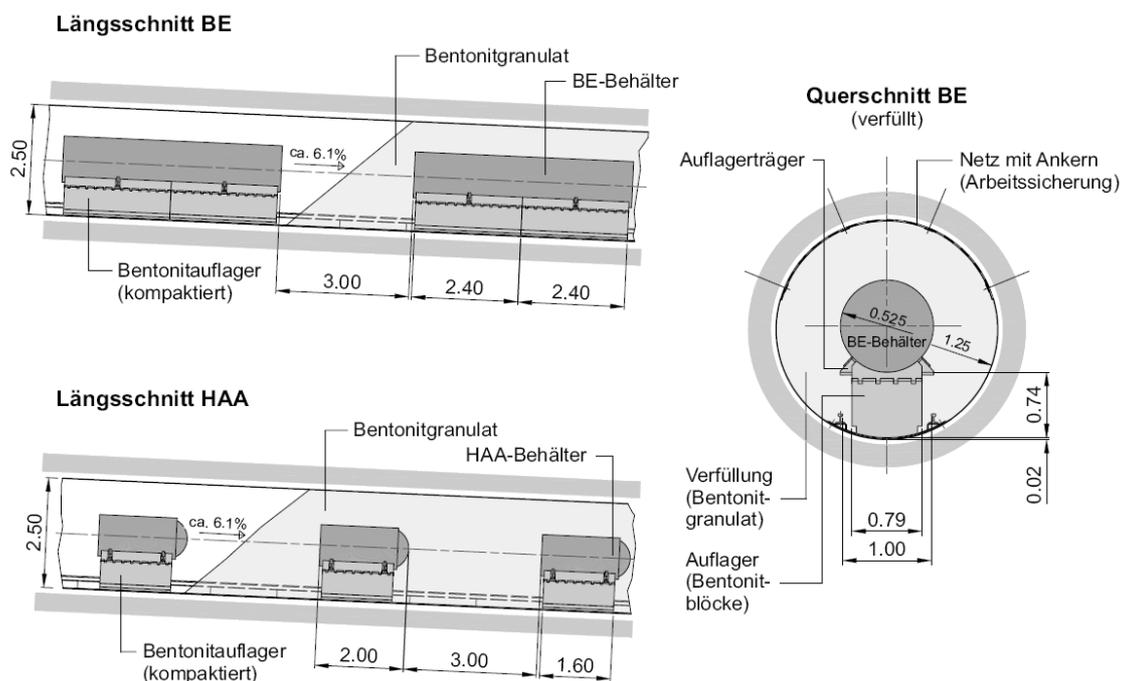


Abb. 8 Einlagerungskonzept der NAGRA für abgebrannte Brennelemente und HAA, aus /NAG 02/

#### 4.2 Einlagerungskonzepte in Deutschland

In Deutschland wurden und werden Untersuchungen zur Einlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle für verschiedene Wirtsgesteinsformationen durchgeführt. Dabei sind für wärmeentwickelnde Abfälle folgende Einlagerungskonzepte bzw. Konzeptvariationen vorgesehen:

- Endlagerung von selbstabschirmenden Behältern mit ausgedientem Kernbrennstoff in Strecken,

## Anhang Endlagerbetrieb

- Bohrlochlagerung von Brennstabkocillen sowie HAW-Kocillen und CSD-C.

Im Weiteren wird beispielhaft die Einlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle anhand des Referenzendlagerkonzeptes für den designierten Endlagerstandort Gorleben /FIL 98/ beschrieben.

Nach dem Gorlebenkonzept ist die Errichtung des Endlagers in Salz in einer Teufe von ca. 870 m vorgesehen. Die Einlagerung der wärmeentwickelnden einerseits und vernachlässigbar wärmeentwickelnden Abfälle andererseits soll in räumlich getrennten Flügeln des Endlagers erfolgen (s. Abb. 9). Diese Untersuchungen wurden angestellt, bevor das Planfeststellungsverfahren für das Endlager Konrad abgeschlossen war und berücksichtigten deswegen auch die Einlagerung von nicht wärmeentwickelnden Abfällen. Die Lage der Einlagerungsfelder sowie die Länge der Einlagerungstrecken sind dem geologischen Aufbau des Salzstockes angepasst.

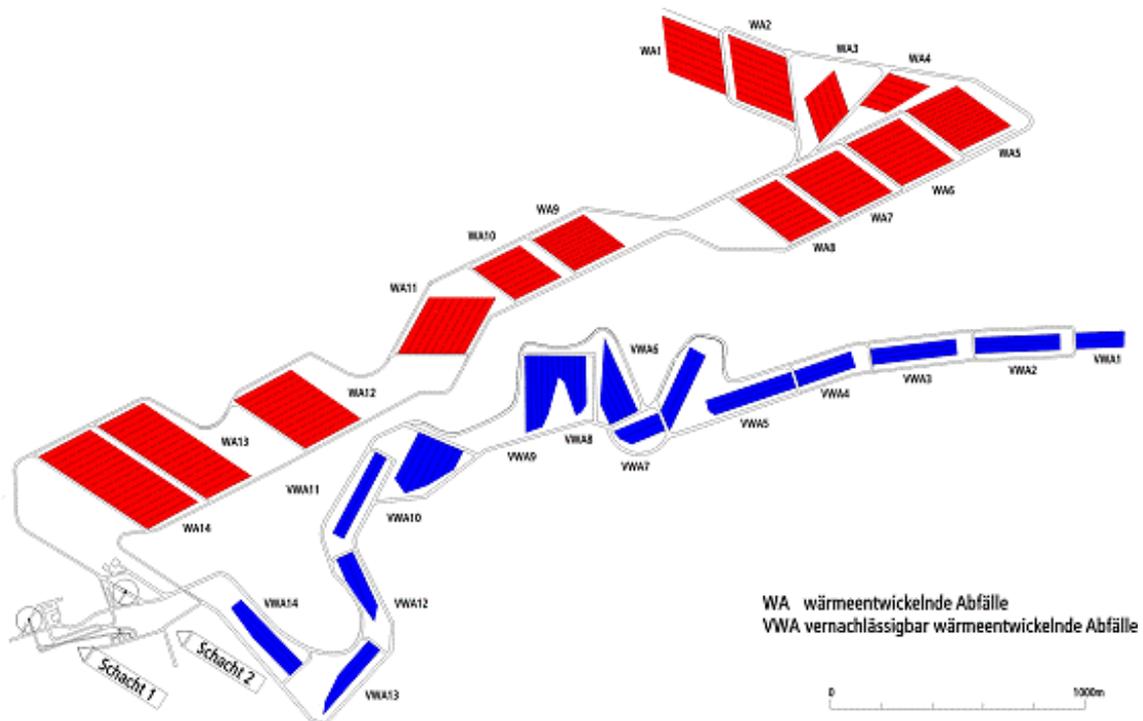


Abb. 9 Gorlebenkonzept - Anordnung der Einlagerungsfelder in räumlich getrennten Einlagerungsbereichen (rot = WA1...WA14: Einlagerungsfelder für wärmeentwickelnde Abfälle; blau = VWA1...VWA14: Einlagerungsfelder für vernachlässigbar wärmeentwickelnde Abfälle)

Der Zugang zu den Untertageanlagen des Endlagers erfolgt über zwei Schächte mit einem Durchmesser von ca. 7,5 m. Schacht 1 ist für den Personen- und Materialtransport, einschließlich Haufwerkstransport vorgesehen. Der für den Transport der Abfallgebände nach Untertage vorgesehene Schacht 2 ist mit einer Förderanlage

für eine maximale Nutzlast von 85 t ausgerüstet. Am Füllort wird der Plateauwagen von einer Batterie-Grubenlokomotive (Abb. 10) übernommen und über die Richtstrecke bis zu dem in Betrieb befindlichen Einlagerungsfeld und dann über einen Querschlag in die Einlagerungsstrecke gezogen.

Die Querschnitte der Richtstrecken und Querschläge hängen von den Lichtraumprofilen der eingesetzten Transporttechnik ab. Bei der im Gorlebenkonzept gewählten Transporttechnik ergibt sich ein Streckenprofil mit einer lichten Höhe von 4170 mm, einer Sohlenbreite von 7 m und einem Querschnitt von ca. 27 m<sup>2</sup>.

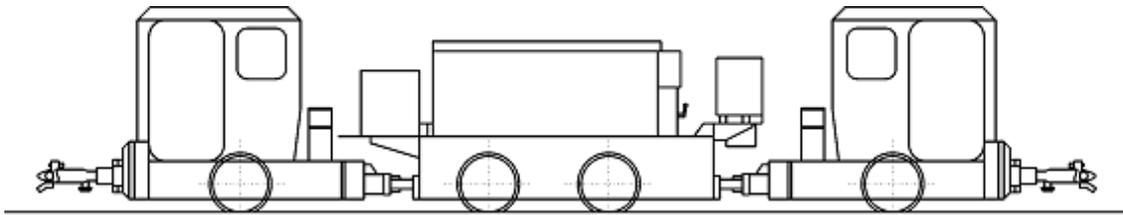


Abb. 10 Skizze der Batterie-Grubenlokomotive

### 4.3 Einlagerungsvarianten für wärmeentwickelnde Abfälle

Der Flügel des Endlagers für wärmeentwickelnde Abfälle wird in 14 Endlagerfelder eingeteilt. Von den Querschlägen zwischen den Richtstrecken zweigen die blinden Einlagerungsstrecken ab. Der Abstand zwischen den Einlagerungsstrecken beträgt 13,5 m. Die Länge der Einlagerungsstrecken, die nur von einer Seite zugänglich sind, kann bis 300 m erreichen. Die Höhe und Breite der Einlagerungsstrecken hängen von der Einlagerungskonzeption ab.

Das Auffahren der Einlagerungsstrecken erfolgt mit Teilschnittmaschinen.

Es wurden drei Varianten der Endlagerung wärmeentwickelnder Abfälle (LWR-BE und HAW) betrachtet:

- Streckenlagerung der ausgedienten Brennelemente in POLLUX-Behältern; Bohrlochlagerung der HAW- und CSD-C-Kokillen in 300 m tiefen Bohrlöchern;
- reine Bohrlochlagerung, wobei die ausgedienten Brennelemente konditioniert in Endlagerbehältern (Brennstabkokille) verpackt werden;
- Streckenlagerung ausgedienter Brennelemente, Bohrlochlagerung der HAW-Kokillen und CSD-C in 30 m tiefen vertikalen bzw. unter 45° geneigten Bohrlöchern.

Für die Einlagerung von anderen wärmeentwickelnden Abfällen, wie VBA-Gebinde, HTR-Kugel-Brennelemente, Brennelemente aus Forschungsreaktoren, wird davon ausgegangen, dass die gleiche Einlagerungstechnik wie für abgebrannte Brennelemente und hochradioaktive Abfälle zum Einsatz kommt. Dazu sind aber noch Untersuchungen zur Machbarkeit einer solchen Lösung durchzuführen.

### Streckenlagerung der POLLUX-Behälter

Der Querschnitt einer Einlagerungstrecke für die Streckenlagerung von POLLUX-Behältern mit Beispielmaßen ist in der Abb. 11 gezeigt.

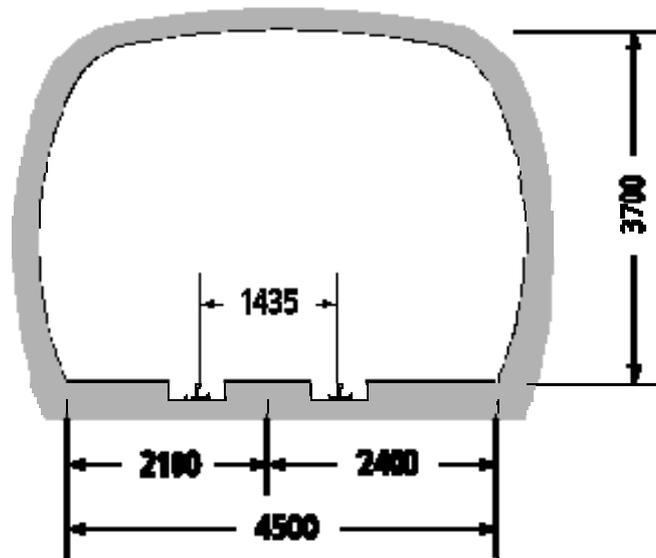


Abb. 11 Querschnitt einer Einlagerungstrecke für die Streckenlagerung

Der Plateauwagen mit dem Behälter wird in der Einlagerungstrecke unter die Einlagerungsmaschine geschoben. Anschließend wird der Behälter von dieser angehoben, der Plateauwagen zurückgezogen und der Behälter auf der Streckensohle abgelegt (Abb. 12).

Anschließend wird die Einlagerungsmaschine aus der Einlagerungstrecke herausgefahren.

Die zuverlässige Funktionsweise dieser Einlagerungstechnik wurde 1993 im Rahmen von Demonstrationsversuchen nachgewiesen.

Der Streckenabschnitt mit dem eingelagerten Behälter wird mit Salzgrus verfüllt (s. Abb. 13). Wie ein entsprechender in-situ-Versuch in der Schachanlage Asse gezeigt hat, wird durch die Kompaktierung des Salzgruses in Verbindung mit der Konvergenz des Wirtsgesteins in der Strecke ein vergleichsweise schneller Einschluss der Behälter erreicht.

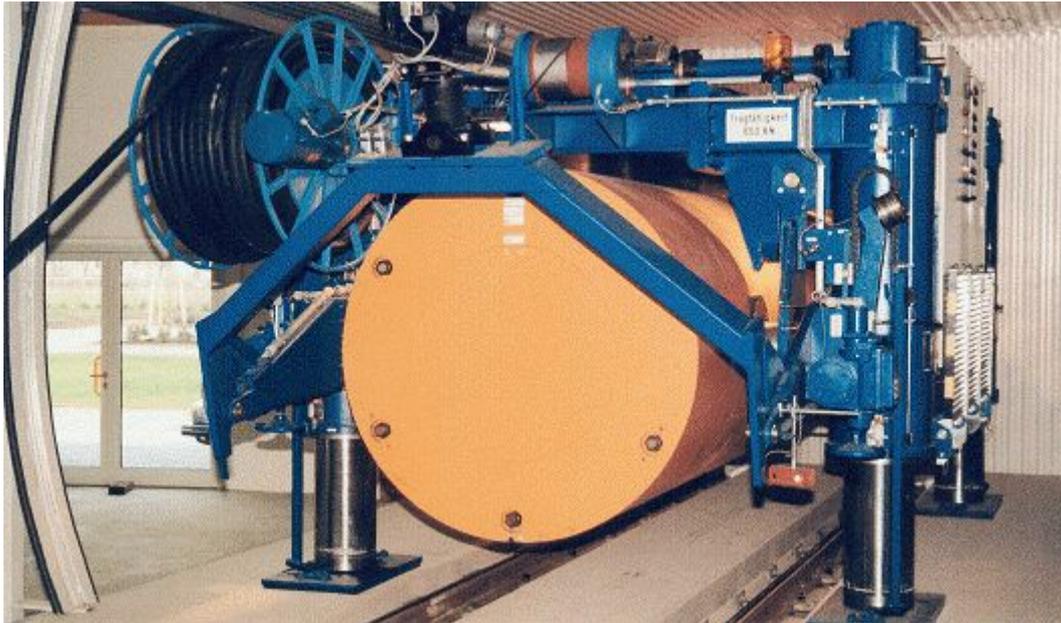


Abb. 12 Demonstrationsstand im Maßstab 1:1 mit einer Einlagerungsmaschine für die Streckenlagerung

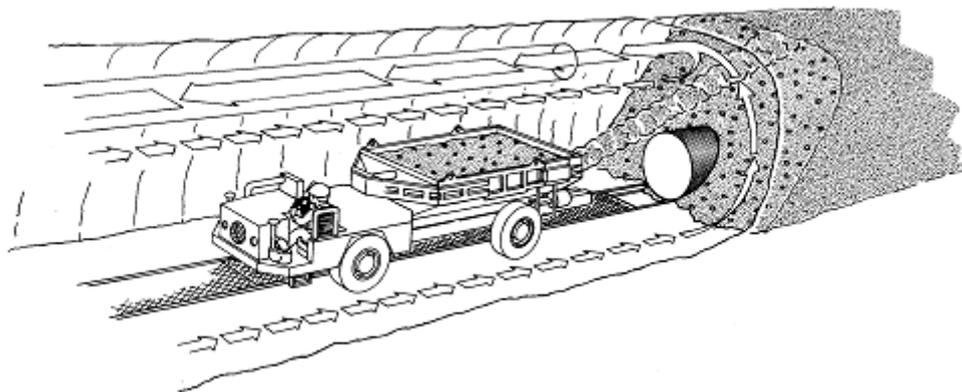


Abb. 13 Prinzipskizze zur Einbringung von Salzgrus in eine POLLUX-Lagerstrecke

In einem Abstand von ca. 6 m wird jeweils der nächste Behälter platziert, bis eine Einlagerungsstrecke gefüllt ist. Abb. 14 zeigt schematisch den Ablauf der Streckenlagerung.

Die Einlagerung erfolgt im Rückbau, beginnend mit den Strecken am äußersten Ende des Grubengebäudes in Richtung auf die Schächte.

Nachdem eine Einlagerungsstrecke gefüllt ist, wird diese verschlossen. Wenn alle Einlagerungsstrecken eines Feldes gefüllt sind, wird der entsprechende Querschlag ebenfalls verfüllt und verschlossen und das Feld abgeworfen. Gleichmaßen werden

die Richtstrecken zu beiden Seiten der abgeworfenen Einlagerungsfelder mit Salzgrus verfüllt und verschlossen.

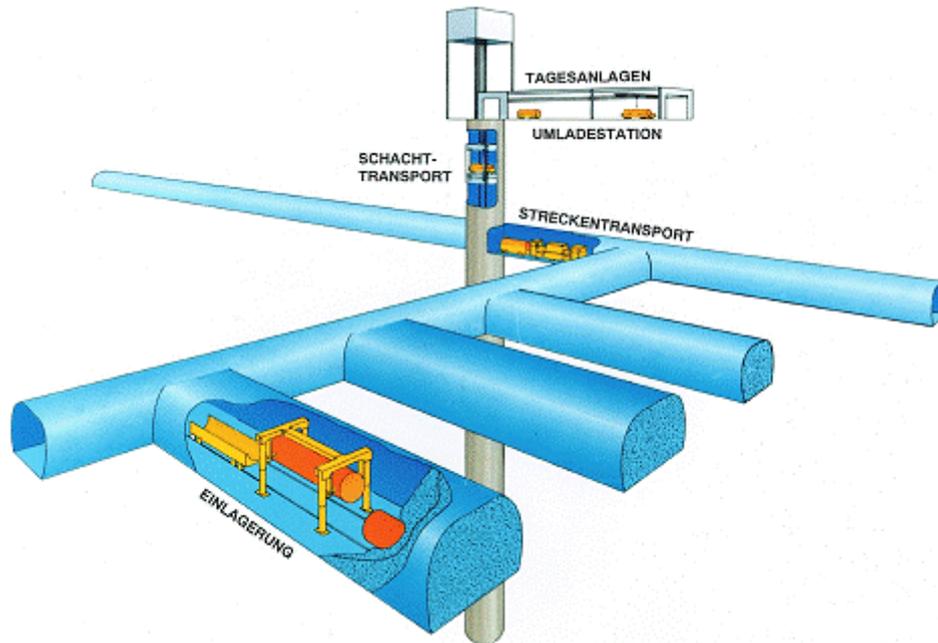


Abb. 14 Gorlebenkonzept - Schema der Endlagerung von POLLUX-Behältern in Strecken

Der Abstand von ca. 6 m zwischen den Behältern wurde anhand thermischer Berechnungen bestimmt, um die maximale Auslegungstemperatur (200°C) bei der Endlagerung in Salz einzuhalten. Thermische Berechnungen haben gezeigt, dass nach dem Versetzen eines Behälters die Temperatur des Behälters, des Versatzmaterials und des Gebirges in der Umgebung des eingelagerten Behälters rasch ansteigt und nach kurzer Zeit Temperaturen bis ca. 200°C erreicht. Danach sinkt die Temperatur aufgrund der sich durch den radioaktiven Zerfall verringernden Wärmeleistung der Behälter sowie der Ableitung der Wärme in das Gebirge allmählich wieder ab.

Der berechnete Temperaturverlauf wurde durch die thermischen Simulationsversuche zur Streckenlagerung in der Asse bestätigt (s. Abb. 15).

Die Endlagerung von POLLUX-Behältern in Strecken kann nach den erfolgreichen Demonstrationsversuchen als Stand der Technik betrachtet werden. Der POLLUX-Behälter sowie die Pilotkonditionierungsanlage für das Beladen der POLLUX-Behälter mit Brennstäben sind verfügbar. Die Einlagerungstechnik ist entwickelt und wurde über Tage erprobt.

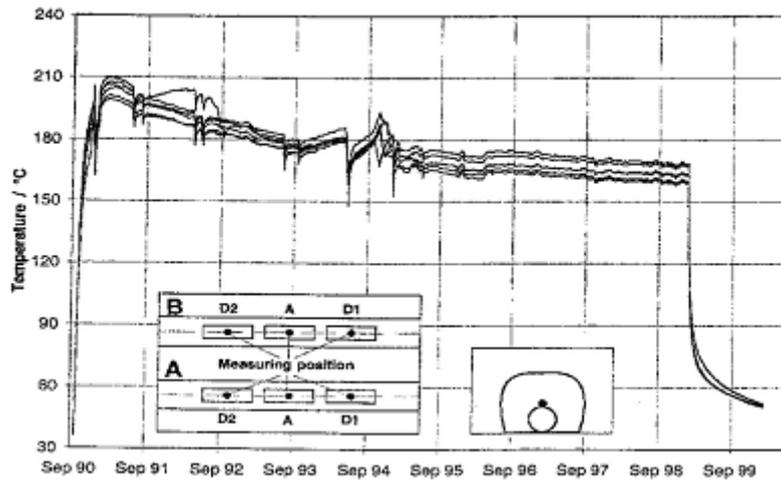


Abb. 15 TSS-Versuch - Gemessener Temperaturverlauf an der Behälteroberfläche, aus: /BEC 03/

### Bohrlochlagerung wärmeentwickelnder Abfälle

Als Alternative zur Streckenlagerung der POLLUX-Behälter wurde die Bohrlochlagerung von Behältern mit abgebrannten Brennelementen und hochradioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung untersucht. Dabei wurden verschiedene Möglichkeiten betrachtet:

- Einlagerung in Tiefbohrlöchern mit einer Tiefe von bis zu 300 m,
- Einlagerung in Kurzbohrlöchern mit einer Tiefe von ca. 30 m mit den Varianten
  - Vertikale Bohrlöcher,
  - Unter 45° geneigte Bohrlöcher.

Das Niederbringen von Tiefbohrlöchern erfordert einen entsprechend tiefen, weitestgehend homogenen und ungestörten Bereich des Salzstockes, für dessen Nachweis im Vergleich zu Kurzbohrlöchern ein höherer Erkundungsaufwand erforderlich ist. Des Weiteren bestehen Unterschiede in der einzusetzenden Bohrtechnik.

Die Einlagerungstechnik ist für beide Varianten prinzipiell die gleiche, wobei für das Herablassen der Behälter in ein Bohrloch die wesentlich größere Tiefe der Tiefbohrlöcher zu beachten ist. Dabei sind wichtige Effekte, wie Veränderungen des Bohrllochdurchmessers durch Konvergenz bei längerem Offenhalten der Tiefbohrlöcher sowie Abweichungen von der Vertikalen beim Niederbringen der Tiefbohrlöcher, bekannt und werden berücksichtigt.

Unterschiede zwischen der Einlagerung in Tief- und Kurzbohrlöchern können sich auch für die Einlagerungslogistik ergeben. Grundsätzlich ist beabsichtigt, die Beladung der Bohrlöcher mit Abfallgebinden kampagnenweise vorzunehmen, d. h. es werden in einer Kampagne so viele Kokillen oder Brennstabbehälter nach unter Tage verbracht, bis ein oder mehrere Bohrlöcher befüllt sind. Das kann für Tiefbohrlöcher eine größere Vorhaltung von Behältern in der Umschlagsanlage erfordern, um längere Unterbrechungen der Einlagerung in Tiefbohrlöcher zu vermeiden.

Bei der Einlagerung von abgebrannten Brennelementen in Bohrlöchern sollen Behälter vom Typ BSK-3 (Brennstabkokille), die die Brennstäbe von drei DWR-Brennelementen aufnehmen können, und für HAW die Standard – COGEMA - Behälter eingesetzt werden. Da die Durchmesser dieser Behälter in etwa gleich sind, kann eine einheitliche Einlagerungstechnik eingesetzt werden.

Für die Einlagerung in Bohrlöchern werden die vorgesehenen Strecken in regelmäßigen Abständen mit Bohrlöchern versehen. Die Bohrarbeiten beginnen am hinteren Ende einer Strecke und enden am Abzweig zum Querschlag entsprechend der Reihenfolge der späteren Verfüllung. Jedes Bohrloch wird mit einem betonierten Bohrlochkeller versehen, der mit einem Bohrlochdeckel verschlossen wird. Der Bohrlochdeckel ermöglicht das Überfahren der vorbereiteten leeren Bohrlöcher während des Einlagerungsbetriebes.

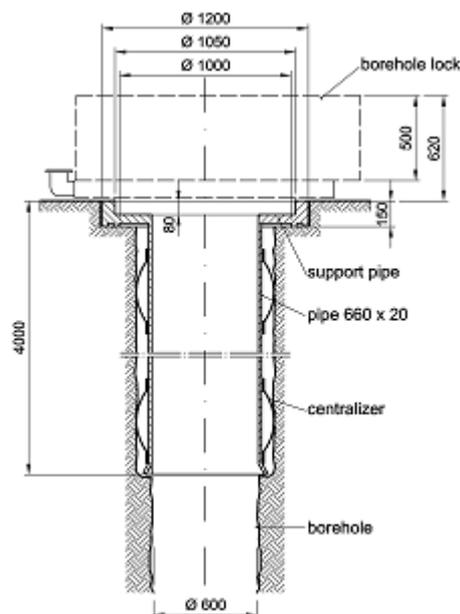


Abb. 16 Schema des Bohrlochkellers

Der Bohrlochkeller nimmt nach Entfernen des Bohrlochdeckels die Bohrlöschleuse auf, die für die Abschirmung des Bohrloches während der Befüllungsphase sorgt. Die

Entlüftung der Bohrlöcher erfolgt durch einen Ringspalt über einen Stutzen, an den eine Saugleitung angeschlossen ist. Das Schema des Bohrlochkellers ist in Abb. 16 gezeigt.

Die Abb. 17 zeigt den Streckenquerschnitt für die vertikale Bohrlochlagerung.

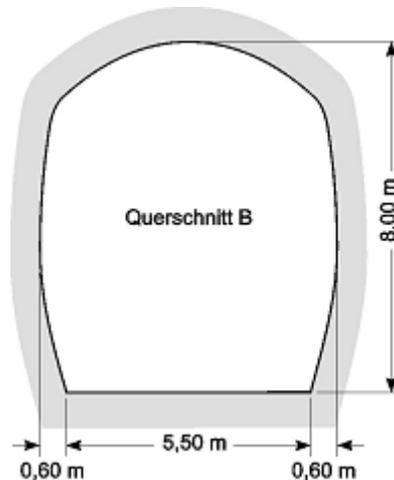


Abb. 17 Streckenquerschnitt für die Endlagerung in vertikalen Bohrlöchern

Der Transport nach unter Tage und zum Einlagerungsort erfolgt in gleicher Weise wie bei den Pollux-Behältern. Am Einlagerungsort wird das Transportfahrzeug mit dem Gebinde zur Übergabe des Transferbehälters in das Portal der dort positionierten Einlagerungsvorrichtung geschoben. Abb. 18 zeigt dazu die für die Einlagerung von HAW-Kokillen von GSF entwickelte Einlagerungstechnik.

Mit einem Brückenkran (1) wird der Transferbehälter (5) angehoben und auf den Bohrlochschieber (6) gestellt. Für den Strahlenschutz beim Einlagern des Abfallgebundes in das Bohrloch wird der Transferbehälter mit einer Abschirmhaube (4) abgedeckt. Nach Öffnen des Transferbehälters wird das Gebinde an einen Greifer (2) angekoppelt und durch ein Schiebersystem in das Bohrloch herabgelassen. Nach erfolgter Absenkung des Gebundes wird der Greifer vom Gebinde abgekoppelt und das Hubseil eingefahren. Die Transferbehälterschieber sowie der Bohrlochschieber werden geschlossen. Mit dem Brückenkran wird der entladene Transferbehälter vom Bohrlochschieber abgenommen und auf den Plateauwagen (7) zum Abtransport verladen.

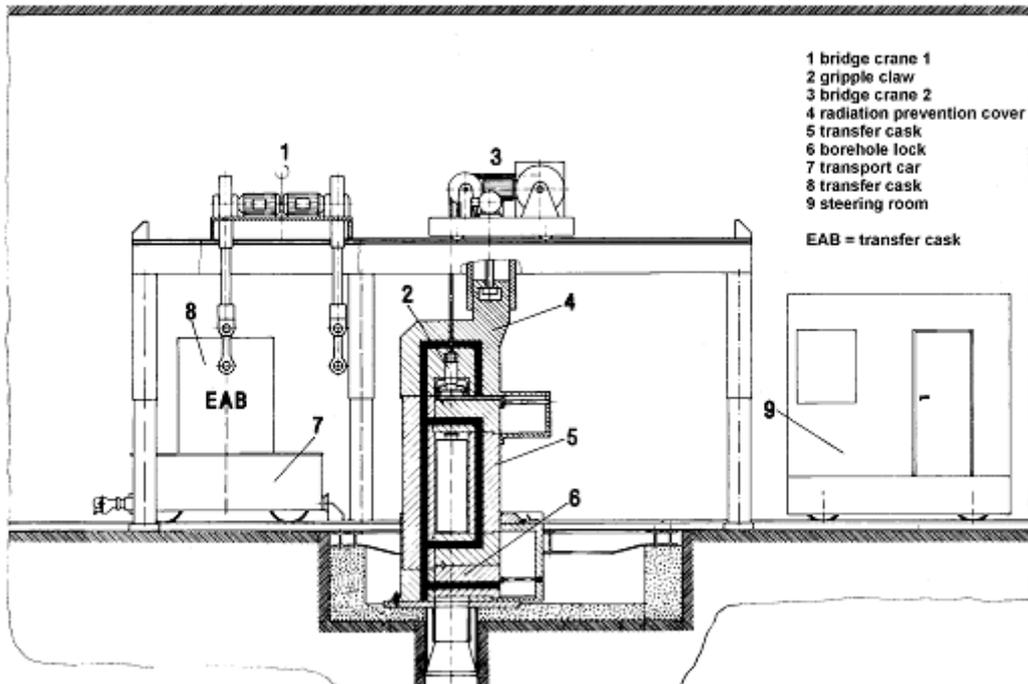


Abb. 18 Einlagerungsmaschine für die vertikale Bohrlochlagerung von HAW-Kokillen

Dann erfolgt mit Hilfe der Einlagerungsmaschine das Versetzen des eingelagerten Behälters mit Salzgrus. Anschließend kann das Einbringen des nächsten Gebindes erfolgen. Alle Prozesse werden vom örtlichen Leitstand (9) ferngesteuert durchgeführt.

Eine andere Möglichkeit wurde für die Einlagerung des BSK-3 mittels eines Hubportals entwickelt. Diese Lösung hat den Vorzug, dass keine zwei Kräne erforderlich sind und das Aufrichten der Transferbehälter und die Einlagerung mit einer einzigen Vorrichtung erfolgt. Das Schema der Einlagerung mit einem Hubportal ist in der Abb. 19 gezeigt.

Dazu wurden Planungen durchgeführt, Komponenten entwickelt und gefertigt sowie ein Versuchsstand errichtet, auf dem in Demonstrationsversuchen die Zuverlässigkeit eines solchen Systems nachgewiesen werden soll.

Die Bohrlöcher werden bis auf eine Resttiefe von ca. 10 m mit Behältern befüllt. Die letzten 10 m des Bohrloches werden mit Salzgrus versetzt. Das Bohrloch wird dann verschlossen und eine befahrbare Oberfläche geschaffen.

Nach dem Befüllen eines Bohrloches wird die Einlagerungsmaschine mit Hilfe eines Plateauwagens zum nächsten Bohrloch umgesetzt. Hier wird sie aufgestellt und ausgerichtet. Nach Anschluss der Versorgungs- und Steuerleitungen und einem Probelauf erfolgt die Einlagerung der Gebinde in gleicher Weise wie oben beschrieben. Nach Befüllen und Verschließen aller Bohrlöcher einer Einlagerungsstrecke wird diese mittels Abschlussbauwerken verschlossen.

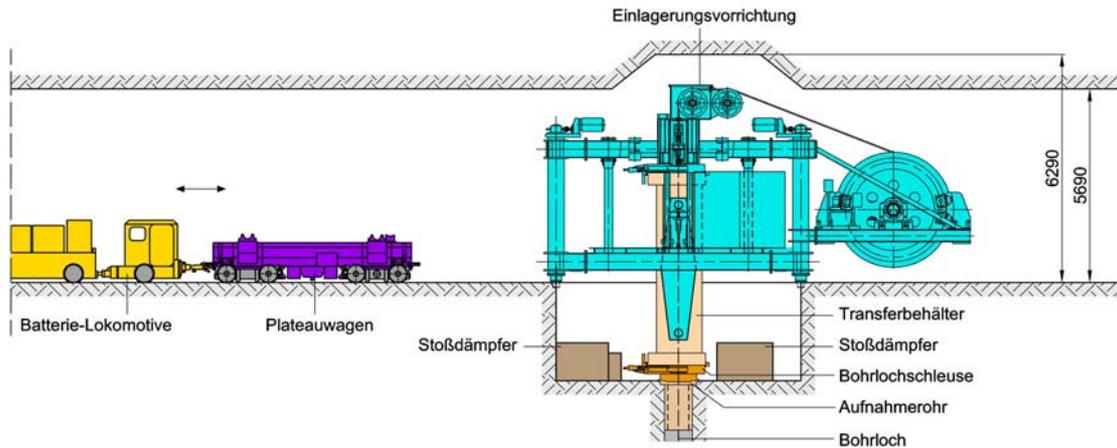


Abb. 19 Einlagerung von BSK-3 bzw. HAW-Kokillen mit einem Hubportal

Der Ablauf der Bohrlocheinlagerung ist schematisch in der Abb. 20 gezeigt.

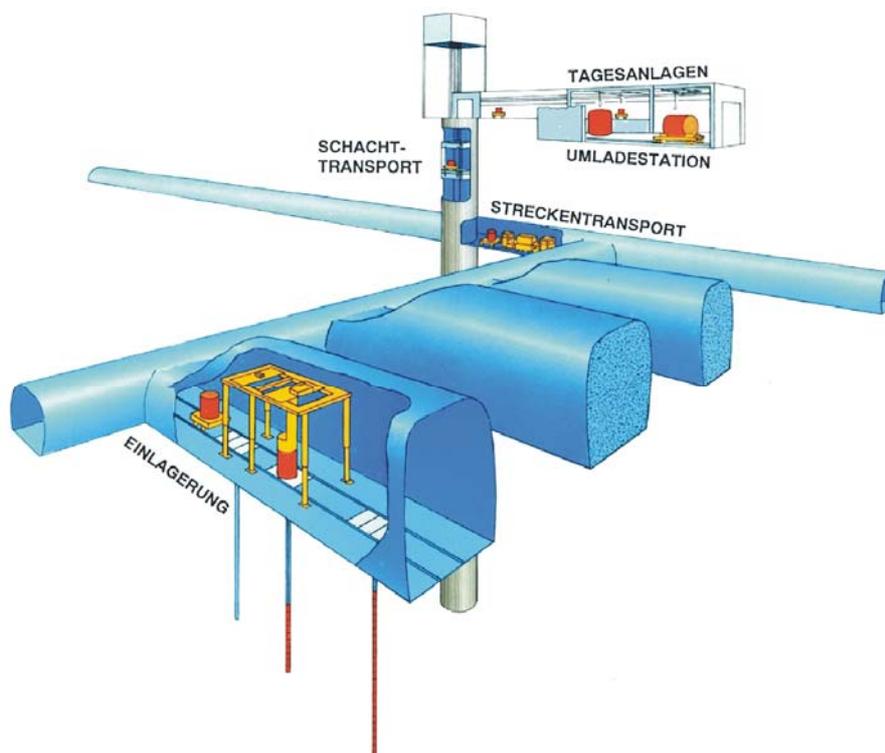


Abb. 20 Bohrlocheinlagerung von wärmeentwickelnden Abfällen

Für die Einlagerung wärmeentwickelnder Abfälle in unter 45° geneigte Kurzbohrlöcher wurden erste konzeptionelle Überlegungen angestellt. Bei dieser Einlagerungstechnik könnte die Streckenhöhe um ca. 1 m verringert werden. Hier ist die Höhe der Einlagerungsmaschine maßgebend, da Kurzbohrlöcher mit einer kleineren Bohrmaschine erstellt werden können. Für die Einlagerung von Gebinden in geneigte

Kurzbohrlöcher soll eine verfahrbare Bohrlocheinlagerungsmaschine (s. Abb. 21) eingesetzt werden.

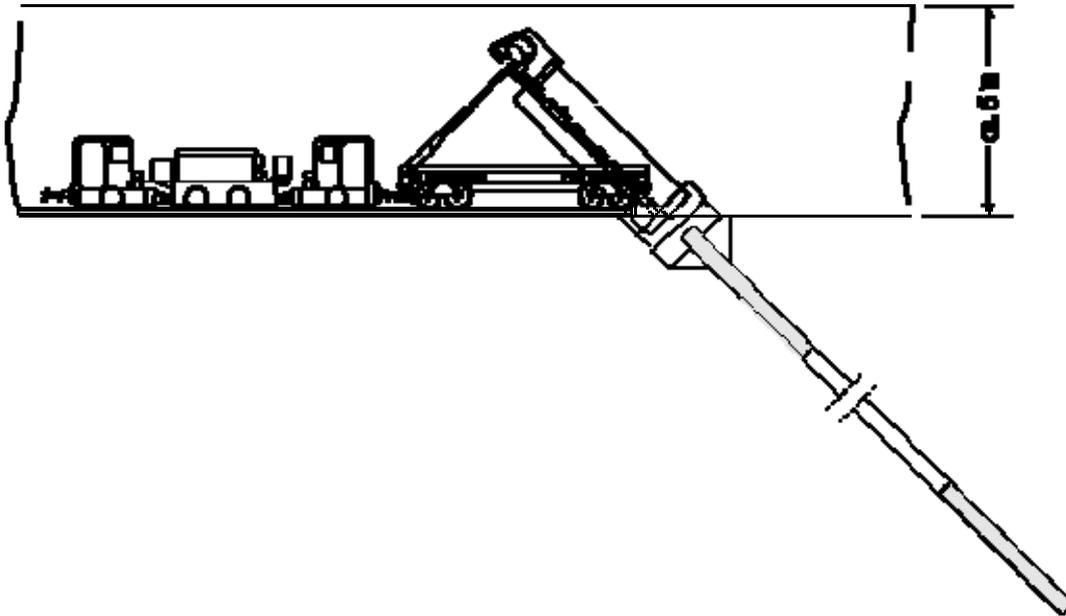


Abb. 21 Einlagerung von BSK- 3 bzw. HAW-Kokillen in geneigte Kurzbohrlöcher

Nachdem alle Bohrlöcher einer Einlagerungsstrecke gefüllt sind, wird diese verfüllt und verschlossen. Nachdem alle Einlagerungsstrecken eines Feldes gefüllt sind, wird der entsprechende Querschlag verfüllt und verschlossen und das Feld abgeworfen. Gleichermaßen werden die Richtstrecken zu beiden Seiten der abgeworfenen Einlagerungsfelder mit Salzgrus verfüllt und verschlossen.

## 5 Verfüll- und Versatzverfahren

Allgemeine Anforderungen an die Verfüllung des Endlagerbergwerkes und an Verschlussmaßnahmen werden seit langem gleichartig diskutiert. Darüber hinaus gilt die Strahlenschutzverordnung und u. a. das dort ausgewiesene Minimierungsgebot, aus dem entsprechende Sicherheitsvorkehrungen abzuleiten sind. Insgesamt ergeben sich folgende wesentliche Anforderungen:

- Die Anzahl offener Einlagerungsräume ist zu minimieren, die Einlagerungshohlräume sind so rasch wie möglich zu befüllen und zu verschließen.
- Während oder nach der Einlagerung der radioaktiven Abfälle ist der verbleibende Hohlraum in den Einlagerungsräumen mit geeignetem Versatzmaterial zu verfüllen.
- Versetzte Felder sind gegen offene Teile des Endlagerbergwerkes gegen Zutritt von Lösungen dicht abzuschließen.
- Mit Abfällen befüllte und mit Versatzmaterial verfüllte Teile der Einlagerungsfelder sowie vollständig versetzte Felder werden abgeworfen.
- Bei anderen untertägigen Hohlräumen, die abgeworfen werden, ist ebenso zu verfahren.

Bei der Verfüllung des Resthohlraumes in den Einlagerungsstrecken und -kammern sowie der übrigen Hohlräume des Grubengebäudes in einer Salzformation gelten weitere spezifische Anforderungen:

- Mechanische Stabilisierung der natürlichen geologischen Barriere Salzgestein,
- Ableitung der Zerfallswärme aus wärmeentwickelnden Abfällen (HAW, Brennelemente),
- Reduzierung des potentiellen Aufnahmevolumentens für Fluide (im Störfall),
- Minimierung der radiologischen Belastung des Personals in der Betriebsphase.

In Tab. 3 sind ausgehend von den o. g. Kriterien und Randbedingungen mögliche Verfülltechniken für die einzelnen zu verfüllenden Hohlräume in Abhängigkeit von der Einlagerungstechnik zusammengefasst (nach /FIL 98/). Die endgültige Auswahl der Verfülltechniken muss im Verlauf der weiteren Planung getroffen werden.

Tab. 3 Mögliche Verfülltechniken in einer Salzformation

Einlagerungstechnik/ Hohlraum	Verfülltechnik		
	Blasversatz	Schleuder versatz	Schüttv ersatz
Streckenlagerung POLLUX/CASTOR		x	
Streckenlagerung Großcontainer		x	
Kammerlagerung Großcontainer	x		
Bohrlochlagerung - Bohrloch			x
Bohrlochlagerung – Einlagerungsstrecke	x	x	
Kammerlagerung LAW	x	x	
Querschläge WA		x	x
Querschläge VA	x	x	x
Richtstrecken	x	x	x
Sonstige Hohlräume (z. B. Werkstätten, Abwetterstrecken, Erkundungsstrecken)	x	x	x

Für den Blasversatz wird das in einer Brech- und Siebanlage aufbereitete Versatzmaterial in einem Zwischenbunker gelagert. Der Zwischenbunker wird an geeigneter Stelle in der Nähe des zu verfüllenden Hohlraumes installiert. Neben dem Zwischenbunker werden der Druckluftkompressor und die Blasmachine installiert. Von dort wird eine Blasleitung in den zu verfüllenden Hohlraum geführt. Vor Ort wird die Blasleitung mit einem Kranarm positioniert, der auf einem Blasversatzfahrzeug montiert ist.

Für den Schleuderversatz wird wie beim Blasversatz ein Zwischenbunker für das Versatzmaterial eingerichtet, der gleichzeitig die Beladestelle für den Schleuderversatzfahrzeug ist. Das beladene Schleuderversatzfahrzeug fährt zum Versatzort, verschleudert das geladene Material und fährt zum Zwischenbunker zur erneuten Beladung zurück. Die Menge des benötigten Versatzmaterials und die Zeitdauer der Verfüllung hängen vom Volumen und der Länge des zu verfüllenden Abschnittes ab. Zur Beschleunigung des Verfüllvorganges können mehrere Schleudertrucks eingesetzt werden.

Ein Schüttversatz mit dem aufbereiteten Versatzmaterial kann mittels Bandanlagen oder Kippfahrzeugen erfolgen. Dabei ist jedoch im Vergleich zu den vorstehend genannten Verfahren die Qualität des Versatzes insbesondere bezüglich der erreichbaren Versatzdichte und der mit Versatz erreichbaren Hohlräume, z. B. oberhalb der Behälter, als geringer zu bewerten.

Für Tonformationen sind nach den gleichen genannten Prinzipien die Verfüll- und Versatzverfahren noch detailliert zu entwickeln.

## 6 Zusammenwirken der Endlagerkomponenten

Die Endlagerung von Abfallgebinden ist ein umfangreicher komplexer Prozess von der Anlieferung zum Endlager bis zur Einlagerung unter Tage. Dafür wird eine Vielzahl von Komponenten benötigt und es bestehen vielfältige Abhängigkeiten. Das Gesamtsystem ist dahingehend zu bewerten, ob es geeignet ist, die in Kapitel 2 beschriebenen Handlungsabläufe und die Leistungsanforderung – Einlagerung aller zur Endlagerung vorgesehenen Abfälle in der vorgesehenen Betriebszeit – zu erfüllen. Dabei werden die ablaufenden Prozesse mittels Rechner simuliert, weil eine Vielzahl organisatorischer Randbedingungen und Planungsgrößen zu berücksichtigen ist, die nach Möglichkeit optimal aufeinander abgestimmt sein sollten.

Für das Gorlebenkonzept wurde eine solche Bewertung mittels der Simulations-Software WITNESS durchgeführt /FIL 98/. Dazu wurde von folgenden Randbedingungen ausgegangen:

- Die Anlieferung der Abfallbinde kann grundsätzlich über Bahn und Lkw erfolgen.
- Der Transport von Rundgebinden erfolgt auf Paletten. Je zwei Paletten mit je zwei Rundgebinden werden mit einem Plateauwagen transportiert.
- In Abhängigkeit von der Größe werden zwei oder ein Container auf einem Plateauwagen transportiert.
- Fässer werden nicht einzeln, sondern verpackt in einen Container transportiert.
- Selbstabschirmende Endlagerbehälter für ausgediente Brennelemente (POLLUX), Transferbehälter mit HAW-Kokillen bzw. Brennstabkokillen (BSK-3) werden einzeln auf Plateauwagen transportiert.
- Die Vereinzelung der Kokillen und der Brennstabkokillen erfolgt kampagnenweise, d.h. es werden in einer Kampagne so viele Kokillen oder Brennstabbehälter nach unter Tage verbracht, bis ein oder mehrere Bohrlöcher befüllt sind..

Berücksichtigt wurden weiterhin andere Einflussgrößen, wie z. B. betriebliche Parameter (Schichtdauer und –anzahl, Stillstandszeiten der Transport- und Einlagerungstechnik, Transportgeschwindigkeiten u. a.) sowie Anzahl, Abmessungen und Gewichte der einzelnen Gebindearten.

Die rechnergestützte Modellierung der Transport- und Einlagerungsabläufe für das Konzept zeigt, dass neben der Anzahl der einzelnen Gebindetypen die wesentlichste Einflussgröße die Anzahl der möglichen Schachtförderungen ist. Weiterhin wurde

gezeigt, dass das konzipierte Gesamtsystem die geforderten Leistungsdaten erfüllen kann. Teilsysteme haben sogar ein erheblich höheres Leistungsvermögen, so dass für diese Teilsysteme Spielraum für Optimierungen besteht.

## **7 Entsorgung interner radioaktiver Abfälle**

Ein Endlager ist eine kerntechnische Einrichtung, bestimmte Teile der Einrichtungen sind als Kontrollbereich eingerichtet. Abfälle, die innerhalb von Kontrollbereichen anfallen sind zunächst als radioaktive Abfälle einzuordnen. Die Entsorgung dieser Abfälle kann durch Einlagerung in einem Endlager, durch Wiederverwertung im kerntechnischen Bereich oder, nach entsprechender Entscheidungsmessung, radiologischer Bewertung und behördlicher Freigabe, als freigegebener Abfall erfolgen.

Da in einem Endlager für hochradioaktive Abfälle ausschließlich verschlossene Gebinde gehandhabt werden und ein Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen nicht erfolgt, ist das Abfallspektrum und das in den betrieblichen Abfällen zu erwartende Aktivitätsinventar sehr eingeschränkt. Es sind folgende Betriebsabfälle des Endlagers zu erwarten:

- Abfälle im Zusammenhang mit Eingangsmessungen und anderen Kontrollmessungen an Behälteraußenwänden (Wischproben, Laborabfälle, etc.),
- ausgebaute Teile der Einrichtungen in Kontrollbereichen (Reparatur, Wartung, Ersatz von Komponenten), wie z.B. die Luftfilter von Fahrzeugen oder aus der Luftreinigung z.B. der untertägigen Werkstatt oder von Aufenthaltsräumen,
- Werkzeuge, Einrichtungsteile und Werkstattabfälle aus der Oberflächenreparatur von Gebinden,
- zementkonditionierte Wässer aus der Dekontamination (Dekontwässer).

Aufgrund der geringen oder nicht vorhandenen Kontamination dieser Abfälle kann damit gerechnet werden, dass der größte Teil nach Entscheidungsmessung, radiologischer Bewertung und behördlicher Kontrolle freigegeben werden kann. Dieses Vorgehen kann entweder direkt mit den Gegenständen erfolgen oder es werden vor der Entscheidungsmessung einfachste Reinigungsmethoden angewendet. Als radioaktiver Abfall ist nur derjenige kleinere Teil der Abfälle zu entsorgen, für den entweder der Aufwand für die Entscheidungsmessung unverhältnismäßig hoch wäre oder der tatsächlich Kontaminationen aufweist, die nicht auf einfache Weise beseitigbar sind und die Freigabekriterien überschreiten.

## Anhang Endlagerbetrieb

Erfahrungen in Endlagern für schwachradioaktive Abfälle zeigen, dass der Umfang an zu entsorgenden Abfällen gering ist. Es handelt sich dabei um Mengen in der Größenordnung 10 bis 20 m<sup>3</sup> pro Jahr.

Die Behandlung (z.B. Verpressung) und endlagergerechte Konditionierung der entstehenden Abfälle ist mittels mobiler Behandlungsanlagen möglich. Aufgrund der geringen Radioaktivitätsgehalte dieser Abfälle ist die Einlagerung im gleichen oder in einem anderen Endlager für schwachradioaktive Abfälle unkritisch.

## 8 Literatur

Hinweis: Dieses Literaturverzeichnis enthält alle in diesem Anhang zitierte Literatur.

- /BEC 03/ W. Bechthold (ed.): Thermal simulation of drift emplacement (TSS). – Summary of interim results. – Forschungszentrum Karlsruhe, 2003.
- /FIL 98/ W. Filbert, J. Engelmann: Aktualisierung des Konzeptes Endlager Gorleben. – Peine, 13.03.1998.
- /NAG 02/ Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (NAGRA): Konzept für die Anlage und den Betrieb eines geologischen Tiefenlagers. – NAGRA NTB 02-02, Wettingen (CH), 2002.
- /ZIE 05/ J. Ziegenhagen et al.: Untersuchung der Möglichkeiten und der sicherheitstechnischen Konsequenzen einer Option zur Rückholung eingelagerter Abfälle aus einem Endlager. – Abschlussbericht, Peine, Mai 2005.