

## Endlagerkonzepte

Bericht zum Arbeitspaket 5

Vorläufige Sicherheitsanalyse  
für den Standort Gorleben

Erstellt von:

**DBE**TEC  
DBE TECHNOLOGY GmbH



## Endlagerkonzepte

Bericht zum Arbeitspaket 5

Vorläufige Sicherheitsanalyse  
für den Standort Gorleben

Wilhelm Bollingfehr (DBE TEC)  
Wolfgang Filbert (DBE TEC)  
Christian Lerch (DBE TEC)  
Marion Tholen (DBE TEC)

Juli 2011

mit Corrigendum Dezember 2011  
und Änderung der Vorbemerkung  
Dezember 2012

### **Anmerkung:**

Das FuE-Vorhaben UM10A03200 „Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben“ wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) durchgeführt.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei dem Auftragnehmer. Die hierin geäußerten Meinungen müssen nicht der Meinung des Auftraggebers entsprechen.

## **Vorbemerkung – veränderte Zielsetzungen des Projekts VSG (Stand: Dezember 2012)**

Die Vorläufige Sicherheitsanalyse Gorleben (VSG) ist ein Forschungsvorhaben der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS). Sie übernimmt die wissenschaftliche und organisatorische Leitung des vom Bundesministerium geförderten Projektes und bearbeitet selbst den Hauptteil der Arbeitspakete.

### **Ursprüngliche Zielsetzung**

In seiner ursprünglichen Konzeption wurden mit dem Projekt VSG im Wesentlichen drei Ziele verfolgt. Das erste Ziel bestand in der Erarbeitung einer systematischen Zusammenfassung des Kenntnissstands zu Gorleben. Darauf aufbauend sollte als zweites Ziel eine vorläufige Eignungsprognose erarbeitet werden. Diese Prognose sollte die Frage beantworten, ob und ggf. unter welchen Voraussetzungen am Standort Gorleben ein Endlager für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle betrieben werden könnte. Die Vorläufigkeit einer solchen Prognose ergibt sich dabei unter anderem zwangsläufig aus dem Umstand, dass eine endgültige Eignungsaussage nur nach einer vollständigen untertägigen Erkundung möglich ist, die in Gorleben nicht gegeben ist. Die dritte Zielsetzung der VSG bestand schließlich in der Identifizierung des noch bestehenden Bedarfs an Forschung und Entwicklung, also der standortspezifischen und standortunabhängigen Fragestellungen, die noch geklärt werden müssen.

### **Aktualisierte Zielsetzung**

Nach Beginn des Projekts wurde im politischen Raum ein breiter Konsens darüber erzielt, dass der Standort eines zukünftigen Endlagers für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle durch einen Vergleich verschiedener Standorte im Rahmen eines mehrstufigen Auswahlverfahrens gefunden werden soll. Aus dieser grundsätzlichen Entscheidung ergibt sich, dass die Frage der Eignung eines Standorts zukünftig nur noch im Vergleich mit anderen beantwortet werden kann. „Geeignet“ in diesem Sinn wird damit der Standort sein, der verschiedene grundsätzliche und vergleichsspezifische Kriterien erfüllt und sich damit als der im Hinblick auf die Sicherheit vergleichsweise beste Standort darstellt. Da diese Kriterien heute noch nicht feststehen, kann eine vorläufige Prognose einer so verstandenen Eignung für den Standort Gorleben im Rahmen der VSG nicht erarbeitet werden.

Vor diesem Hintergrund hat die GRS im Einvernehmen mit dem Bundesumweltministerium (BMU) als dem Zuwendungsgeber der VSG die Projektziele den veränderten Rahmenbedingungen angepasst. Danach bleiben die systematische Zusammenfassung des bisherigen Kenntnisstands zu Gorleben und die Identifizierung des zukünftigen Forschungs- und Entwicklungsbedarfs weiterhin Ziele der VSG. Die Änderungen betreffen die nachfolgenden Punkte:

- Die ursprünglich angestrebte vorläufige Eignungsprognose für den Standort Gorleben wird nicht erarbeitet. Es wird geprüft, ob die im Vorhaben VSG entwickelten Endlagerkonzepte im Verbund mit der geologischen Barriere am Standort Gorleben oder einem hinsichtlich der geologischen Situation vergleichbaren Salzstandort aus heutiger Sicht geeignet erscheinen, die Sicherheitsanforderungen des BMU zu erfüllen.
- Ergänzt werden die bisherigen Projektziele um eine Untersuchung der Frage, welche methodischen Ansätze der VSG in einem zukünftigen Standortauswahlverfahren sinnvoll zum Vergleich von Endlagerstandorten eingesetzt werden können. Unabhängig von der konkreten Ausgestaltung des zukünftigen Standortauswahlverfahrens ist bereits heute absehbar, dass es im Verlauf eines solchen Verfahrens immer wieder erforderlich sein wird, den bis zu einem bestimmten Verfahrensschritt erreichten Wissensstand zu den einzelnen Standorten systematisch zusammenzufassen und zu bewerten.

- Außerdem soll über die ursprünglichen Zielsetzungen hinaus untersucht werden, welche der in der VSG entwickelten technischen Konzepte zur Einlagerung der radioaktiven Abfälle und zum Verschluss des Endlagerbergwerks übertragbar auf Endlagersysteme an Standorten mit anderen geologischen Gegebenheiten sind.

### **Aktualisierte Projektplanung**

Durch den Ausstiegsbeschluss vom Mai 2011 hat sich die Prognose der zu erwartenden Gesamtmenge an wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen gegenüber jener, die zu Beginn des Projekts im Sommer 2010 anzunehmen war, erheblich verändert. Dies führte dazu, dass ein wesentlicher Teil der bis Mai 2011 durchgeführten Konzeptentwicklungen und Modellrechnungen mit den neuen Daten erneut durchgeführt und teilweise bereits fertiggestellte Teilberichte entsprechend durch aktualisierte Fassungen ergänzt werden mussten. Dieser zusätzliche Aufwand und die oben erwähnten Ergänzungen in der Zielsetzung der VSG führen dazu, dass das Projekt nicht – wie ursprünglich vorgesehen – Ende 2012 sondern Ende März 2013 abgeschlossen werden kann.

### **Projektpartner**

Da für die Bearbeitung der VSG spezialisiertes Fachwissen unterschiedlicher Disziplinen notwendig ist, sind neben der GRS verschiedene Partner in das Projekt eingebunden. Dazu zählen: Dr. Bruno Baltes, die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), die DBE TECHNOLOGY GmbH (DBE TEC), das Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik der TU Clausthal (TUC), das Institut für Endlagerforschung der TU Clausthal (TUC), das Institut für Gebirgsmechanik GmbH (IfG), das Institut für Sicherheitstechnologie (ISTec), das Karlsruher Institut für Technologie/Institut für Nukleare Entsorgung (KIT/INE), die international nuclear safety engineering GmbH (nse; mehrere Institute der RWTH Aachen) sowie das Institut für Atmosphäre und Umwelt (IAU) der Universität Frankfurt.

### **Arbeitspakete**

Die Übersicht der Arbeitspakete (AP) der vorläufigen Sicherheitsanalyse Gorleben (VSG) umfasst:

- AP 1: Projektkoordination
- AP 2: Geowissenschaftliche Standortbeschreibung und Langzeitprognose
- AP 3: Abfallspezifikation und Mengengerüst
- AP 4: Sicherheits- und Nachweiskonzept
- AP 5: Endlagerkonzept
- AP 6: Endlagerauslegung und -optimierung
- AP 7: FEP-Katalog
- AP 8: Szenarienentwicklung
- AP 9: Integritätsanalysen
- AP 10: Analyse Freisetzungsszenarien
- AP 11: Bewertung Human Intrusion
- AP 12: Bewertung der Betriebssicherheit
- AP 13: Bewertung der Ergebnisse
- AP 14: Empfehlungen

**Corrigendum:**

Gegenüber der Version vom Juli 2011 wurde folgender Fehler behoben: In der Anmerkung auf dem Innentitel wurde die FuE-Vorhaben-Nummer „UM10R03100“ durch „UM10A03200“ ersetzt.

**Deskriptoren:**

Betriebsabläufe, Endlagerbehälter, Endlager für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle, Gorleben, Gruben-gebäude, Stilllegung und Rückbau, Tagesanlagen, Transport- und Einlagerungstechnik, Verfüll- und Verschlusskonzept

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zielsetzung und Grundlagen der Endlagerkonzeption .....</b>	<b>1</b>
1.1	Untersuchte Einlagerungsvarianten .....	1
1.2	Planungsgrundlagen und Annahmen .....	2
1.3	Anforderungen im Hinblick auf Betriebssicherheit .....	5
1.4	Anforderungen im Hinblick auf Human Intrusion .....	7
<b>2</b>	<b>Auswahl und Beschreibung der Endlagerbehälter .....</b>	<b>11</b>
2.1	Endlagerbehälter für die Einlagerungsvariante B1 (Streckenlagerung) ....	13
2.1.1	POLLUX <sup>®</sup> -10.....	14
2.1.2	POLLUX <sup>®</sup> -9 .....	14
2.1.3	CASTOR <sup>®</sup> THTR/AVR, CASTOR <sup>®</sup> KNK.....	17
2.1.4	CASTOR <sup>®</sup> MTR 2 .....	18
2.2	Endlagerbehälter für die Einlagerungsvariante B2 (Differenzbetrachtung zur Streckenlagerung).....	19
2.2.1	CASTOR <sup>®</sup> V/19.....	20
2.2.2	CASTOR <sup>®</sup> V/52.....	21
2.2.3	CASTOR <sup>®</sup> 440/84 .....	21
2.2.4	CASTOR <sup>®</sup> HAW 20/28 CG und TS 28 V .....	22
2.2.5	TN 85.....	23
2.2.6	CASTOR <sup>®</sup> HAW 28 M.....	23
2.2.7	TGC 36.....	24
2.3	Endlagerbehälter für die Einlagerungsvariante C (Bohrlochlagerung).....	31
2.3.1	Brennstabkokillen (BSK).....	32
2.3.2	Triple-Pack .....	32
2.3.3	Modifizierte BSK .....	32
2.4	Endlagerbehälter für die Einlagerungsvariante A (vernachlässigbar wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle) .....	36
2.4.1	Betonbehälter (verlorene Betonabschirmungen).....	37

2.4.2	Gussbehälter .....	38
2.4.3	Konrad Container.....	38
2.4.4	Weitere Abfallgebinde.....	39
2.4.5	Tausch- und Transportpalette.....	44
2.5	Abfallmengengerüst – Anzahl der Endlagerbehälter je Einlagerungsvariante .....	46
<b>3</b>	<b>Konzeption der Tagesanlagen .....</b>	<b>53</b>
3.1	Abfallströme und Einlagerungsvarianten.....	55
3.2	Umschlagsanlage .....	56
3.2.1	Prinzipbeschreibung der Handhabungsabläufe.....	57
3.2.2	Auswahl der innerbetrieblichen Transportmittel .....	58
3.2.3	Planung der Umschlagsanlage .....	59
3.3	Schachthalle (Halle XII), Schacht 2.....	66
3.4	Schachtförderanlage Schacht 2.....	67
3.4.1	Schachtbeschickungsanlage .....	67
3.4.2	Hauptseilfahrtanlage.....	68
3.5	Hauptgrubenlüfteranlage mit Abwetterkanal, Diffusor und Kamin .....	70
<b>4</b>	<b>Konzeption des Grubengebäudes .....</b>	<b>71</b>
4.1	Grundlagen und Planungsrandbedingungen.....	71
4.1.1	Zugang zum Endlager .....	71
4.1.2	Sicherheitsabstände zu den Schächten, Hauptanhydrit und Carnallitit und Salzstockflanken.....	71
4.2	Endlagerkonzepte.....	73
4.2.1	Infrastrukturbereich.....	73
4.2.2	Einlagerungsvariante B1 Streckenlagerung und Variante A.....	74
4.2.3	Einlagerungsvariante C, Bohrlochlagerung und Variante A.....	86

<b>5</b>	<b>Beschreibung der Transport- und Einlagerungstechnik .....</b>	<b>97</b>
5.1	Transport- und Einlagerungstechnik für Endlagerbehälter für Streckenlagerung (Variante B1).....	97
5.1.1	Komponenten und Transportabläufe über Tage.....	98
5.1.1.1	Brückenkran 750 kN .....	99
5.1.1.2	Plateauwagen für POLLUX®-Behälter .....	99
5.1.1.3	Plateauwagen für CASTOR® THTR/AVR und CASTOR® KNK .....	101
5.1.1.4	Plateauwagen für CASTOR® MTR 2.....	101
5.1.1.5	Stationär installierte Flurfördereinrichtung.....	101
5.1.1.6	Transportabläufe über Tage .....	102
5.1.2	Komponenten und Transportabläufe unter Tage.....	103
5.1.2.1	Batterie-Lokomotive .....	104
5.1.2.2	Einlagerungsvorrichtung für POLLUX®-Behälter .....	105
5.1.2.3	Einlagerungsvorrichtung für CASTOR® THTR/AVR und CASTOR® KNK.....	107
5.1.2.4	Einlagerungsvorrichtung für CASTOR® MTR 2 .....	107
5.1.2.5	Transportabläufe unter Tage .....	107
5.2	Transport- und Einlagerungstechnik für Endlagerbehälter für Bohrlochlagerung (Variante C).....	108
5.2.1	Komponenten und Transportabläufe über Tage.....	109
5.2.1.1	Brückenkran 750 kN .....	109
5.2.1.2	Transferbehälter für Brennstabkokillen und Triple-Packs .....	109
5.2.1.3	Plateauwagen für Transferbehälter .....	111
5.2.1.4	Stationär installierte Flurfördereinrichtung.....	112
5.2.1.5	Transportabläufe über Tage .....	112
5.2.2	Komponenten und Transportabläufe unter Tage.....	112
5.2.2.1	Batterie-Lokomotive .....	113
5.2.2.2	Einlagerungsvorrichtung für Brennstabkokillen und Triple-Packs.....	113
5.2.2.3	Bohrlochsleuse .....	114
5.2.2.4	Transportabläufe unter Tage .....	116
5.3	Transport- und Einlagerungstechnik für Endlagerbehälter mit Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung (Variante A) .....	120

5.3.1	Komponenten und Transportabläufe über Tage.....	120
5.3.1.1	Brückenkran 400 kN .....	120
5.3.1.2	Plateauwagen für Abfallgebinde mit Abfällen mit vernachlässig- barer Wärmeentwicklung .....	121
5.3.1.3	Stationär installierte Flurfördereinrichtung.....	123
5.3.1.4	Transportabläufe über Tage .....	123
5.3.2	Komponenten und Transportabläufe unter Tage.....	123
5.3.2.1	Stapelfahrzeug .....	123
5.3.3	Transportabläufe unter Tage .....	125
<b>6</b>	<b>Beschreibung der Betriebsabläufe.....</b>	<b>129</b>
6.1	Bergmännische Arbeiten zur Herstellung und Instandhaltung der Grubenräume .....	129
6.1.1	Herstellung Grubenräume.....	129
6.1.2	Instandhaltung .....	130
6.2	Einlagerungsregime .....	132
6.3	Verfüll- und Verschlusstechniken.....	135
6.3.1	Verfüllverfahren .....	136
6.3.1.1	Blasversatz .....	137
6.3.1.2	Schleuderversatz mit Schleudertruck.....	139
6.3.1.3	Schleuderversatz mit gleisgebundenem Versatzfahrzeug.....	139
6.3.1.4	Schüttversatz.....	142
6.4	Sonstige funktionale Maßnahmen.....	142
6.4.1	Betrieblicher Strahlenschutz .....	142
6.4.2	Einteilung des Endlagers in Strahlenschutzbereiche.....	143
6.4.2.1	Sperrbereiche .....	144
6.4.2.2	Kontrollbereiche.....	144
6.4.2.3	Überwachungsbereiche .....	146
6.4.2.4	Kontrollbereichsübergänge .....	146
6.4.3	Maßnahmen des betrieblichen Strahlenschutzes.....	147
6.4.4	Bewetterung .....	147

<b>7</b>	<b>Verfüll- und Verschlusskonzept .....</b>	<b>149</b>
7.1	Zielsetzung .....	149
7.2	Technische Maßnahmen zur Umsetzung des Sicherheitskonzeptes.....	150
7.2.1	Verfüll- und Verschlussmaßnahmen für Variante B1.....	151
7.2.2	Verfüll- und Verschlusskonzept für Variante B2 .....	158
7.2.3	Verfüll- und Verschlusskonzept für Variante C .....	158
<b>8</b>	<b>Transport- und Lagerbehälter – Differenzbetrachtung zur Streckenlagerung (Variante B2).....</b>	<b>161</b>
8.1	Konzeption der Transport- und Einlagerungstechnik.....	161
8.2	Ermittlung/Abschätzung der erforderlichen Feldesgröße.....	166
8.3	Weiterführende Arbeiten .....	168
<b>9</b>	<b>Stilllegung und Rückbau.....</b>	<b>169</b>
<b>10</b>	<b>Identifizierung von notwendigen FuE-Arbeiten .....</b>	<b>171</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>175</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>181</b>
	<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>185</b>



# 1 Zielsetzung und Grundlagen der Endlagerkonzeption

Vorrangiges Ziel der Vorläufigen Sicherheitsanalyse Gorleben (VSG) ist eine nachvollziehbar dokumentierte Eignungsprognose für den Standort Gorleben. Das beinhaltet unter anderem die Entwicklung eines optimierten Endlagerkonzeptes. Hierfür sind zunächst grundlegende Endlagerkonzepte zu entwerfen (Arbeitspaket 5). Diese dienen als initiales Arbeitsmodell und werden in einer weiteren Planungsphase (Arbeitspaket 6) vertieft untersucht und weiterentwickelt. Danach wird unter Berücksichtigung von Optimierungszielen gemäß den Sicherheitsanforderungen für die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle /BMU 10/ eine Bewertung vorgenommen.

## 1.1 Untersuchte Einlagerungsvarianten

Der vorliegende Bericht basiert auf dem Planungs- und Kenntnisstand zum 31.12.2010 und beschreibt grundlegende Endlagerkonzepte (initiale Arbeitsmodelle), die auf Basis des Sicherheitsnachweiskonzeptes (Arbeitspaket 4), eines vorgegebenen Abfallmengerüstes (Arbeitspaket 3), den bisher bekannten geologischen Bedingungen im Salzstock Gorleben (Arbeitspaket 2) sowie den in den Abschnitten 1.2 bis 1.4 aufgeführten Annahmen und Anforderungen entwickelt wurden. Dabei wurden für die wärmeentwickelnden radioaktiven Abfälle zwei unterschiedliche Varianten der Einlagerung (Streckenlagerung und Bohrlochlagerung) betrachtet. Für die Variante der Streckenlagerung wurde zusätzlich die Verwendung von Transport- und Lagerbehältern als Endlagerbehälter betrachtet. Die aus heutiger Sicht als mögliche Zusatzoption zu berücksichtigenden radioaktiven Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung sollen in Anlehnung an Einlagerungskonzepte für das Endlager Konrad in Kammern eingelagert werden. Die betrachteten Varianten wurden vereinfacht mit Buchstaben gekennzeichnet und sind wie folgt definiert:

**Variante A:** Einlagerung von Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung in horizontalen Einlagerungskammern.

**Variante B1:** Einlagerung aller wärmeentwickelnden radioaktiven Abfälle in selbstabschirmenden Endlagerbehältern in horizontalen Strecken.

Zusätzlich wurde als **Variante B2** im Sinne einer Differenzbetrachtung die Einlagerung aller wärmeentwickelnden Abfälle in den zur Zwischen-

lagerung genutzten Transport- und Lagerbehältern in horizontalen Bohrlöchern untersucht.

**Variante C:** Einlagerung aller wärmeentwickelnden radioaktiven Abfälle in tiefen, vertikalen Bohrlöchern (Brennstabkokillen, Triple-Packs).

Der vorliegende Bericht beginnt mit einer Zusammenstellung und Beschreibung der für das vorgesehene Abfallmengengerüst ausgewählten Endlagerbehälter. Anschließend werden in den nachfolgenden Kapiteln die für ein Endlagerkonzept maßgeblichen Komponenten und Abläufe beschrieben. Dazu gehören neben den ausgewählten Endlagerbehältern, die übertragigen Anlagen, die Transport- und Einlagerungstechnik sowie das für die jeweilige Variante konzipierte Grubengebäude. Der Bericht beinhaltet weiterhin eine Beschreibung des Verfüll- und Verschlusskonzeptes auf Basis des Sicherheits- und Nachweiskonzeptes. Die Betriebsabläufe werden skizziert sowie Rückbau- und Stilllegungsmaßnahmen am Ende der Endlagerbetriebszeit beschrieben. Im Rahmen einer Differenzbetrachtung wird darüber hinaus auch noch die Endlagerung der wärmeentwickelnden Abfälle in Transport- und Lagerbehältern betrachtet. Der Bericht endet mit einer Zusammenstellung von identifizierten Forschungs- und Entwicklungsthemen.

## **1.2 Planungsgrundlagen und Annahmen**

Für die in diesem Bericht beschriebene Endlagerkonzeption (Kapitel 2 bis 9) für die vorgenannten Einlagerungsvarianten wurden eine Reihe von Annahmen getroffen. Das war erforderlich, weil der für eine vollständige Planung notwendige Datensatz zur Geologie, zum Abfall, zu den Endlagerbehältern, zur Technik und zu Werk- und Baustoffen nicht vorlag. In den nachfolgenden Abschnitten sind die verwendeten Planungsgrundlagen und die Annahmen zusammengestellt.

Die Konzeption des Endlagers wird maßgeblich von zwei Faktoren bestimmt: von den vorhandenen geologischen Bedingungen am Standort und von der Art und Menge der endzulagernden Abfälle. Letzteres wird einschließlich der Verpackung der radioaktiven Abfälle in Endlagerbehältern im Kapitel 2 beschrieben. Die für die Endlagerkonzeption zugrunde gelegten geologischen Randbedingungen am Standort Gorleben basieren auf detaillierten Standortbeschreibungen der BGR, die in nachfolgenden Berichten veröffentlicht wurden:

**Standortbeschreibung Gorleben, Teil 1:**

Die Hydrogeologie des Deckgebirges des Salzstockes Gorleben,  
Geologisches Jahrbuch Reihe C, Band C71, 2010.

**Standortbeschreibung Gorleben, Teil 2:**

Die Geologie des Deck- und Nebengebirges des Salzstockes Gorleben,  
Geologisches Jahrbuch Reihe C, Band C72, 2010.

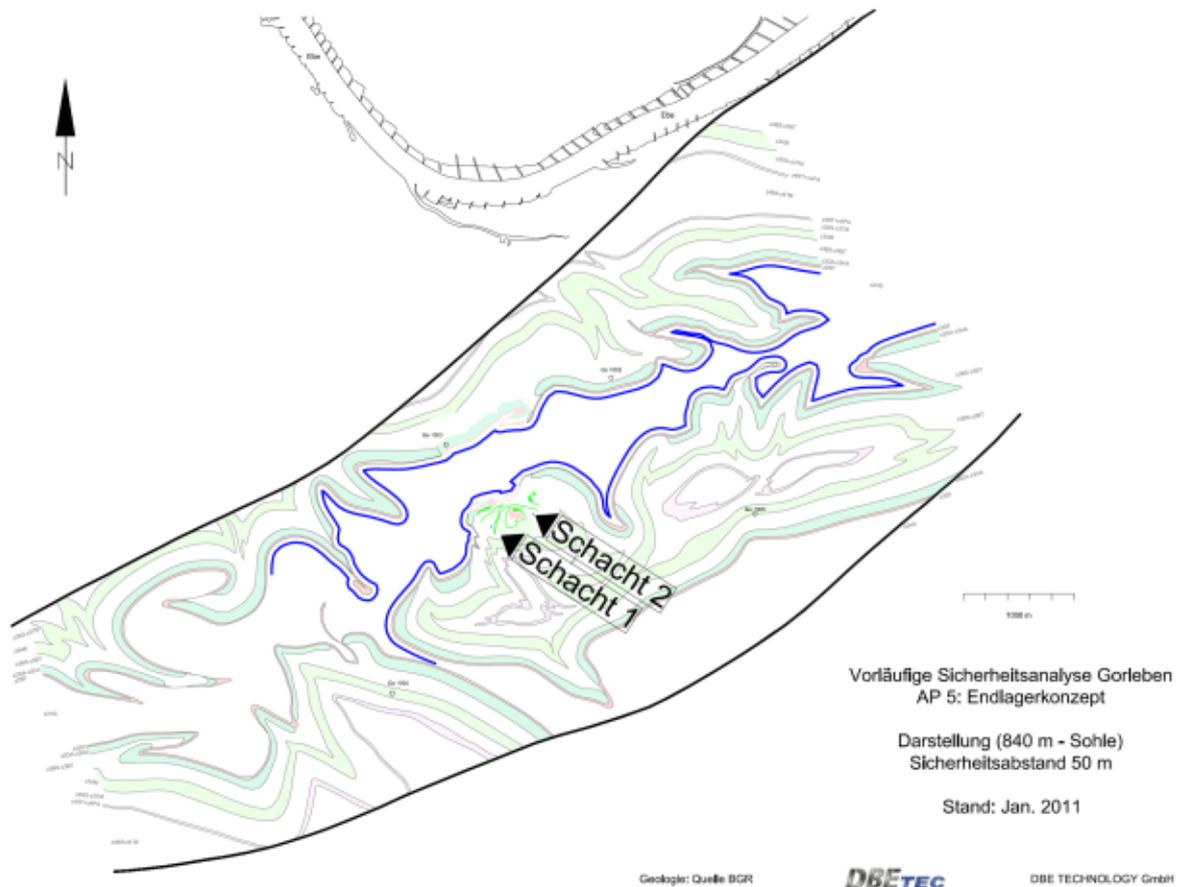
**Standortbeschreibung Gorleben, Teil 3:**

Ergebnisse der über- und untertägigen geologischen Erkundung des Sal-  
linars, Geologisches Jahrbuch Reihe C, Band C73, 2010.

Auf Basis dieser Ergebnisse wird bei der Endlagerkonzeption von folgenden geologi-  
schen Planungsgrundlagen ausgegangen:

- geprüfte Erkundungsergebnisse für den Erkundungsbereich 1 (Horizontalschnit-  
te der 840 m und 880 m Sohle)
- Prognosemodelle von 1989 für alle anderen Erkundungsbereiche /BFS 90/

Unter Berücksichtigung dieser Grundlagen und eines Sicherheitsabstandes von min-  
destens 50 m /MIN 10/ zu potenziellen Störungszonen und relevanten Schichtgrenzen  
(Kaliflöz oder Anhydrit) wurde die in Abb. 1.1 dargestellte abgedeckte geologische Kar-  
te für die Erkundungssohle (840 m Teufe) hergeleitet /DON 89/. In den Endlagerkon-  
zeptionen wird dieses angenommene geologische Profil auch für den Einlagerungsho-  
rizont (870 m Teufe) zugrunde gelegt, weil es zum einen keine vollständigen  
Erkundungsergebnisse für exakt diesen Horizont gibt und zum anderen angenommen  
werden kann, dass 30 m unterhalb der Erkundungssohle durch den Salzstockaufstieg  
keine wesentlich andere geologische Struktur entstanden ist.



**Abb. 1.1** Angenommene geologische Struktur des Erkundungshorizontes (840 m Tiefe) am Standort Gorleben mit eingezeichnetem Sicherheitsabstand (blaue Linie)

Den Endlagerplanungen wurde weiterhin zugrunde gelegt, dass alle Salzrechte verfügbar seien. Für die Erkundungs- und die Einlagerungsbereiche wurde hier angenommen, dass freie Wahl hinsichtlich einer sinnfälligen Streckenführung besteht. Die maßgeblichen Abstände zwischen Endlagerbehältern, Einlagerungsstrecken und -bohrlöchern wurden bei dem im vorliegenden Bericht beschriebenen initialen Arbeitsmodell aus bereits vorliegenden Ergebnissen thermischer Berechnungen zur „Aktualisierung des Konzeptes Endlager Gorleben“ /DBE 98/ abgeleitet. Bei der Weiterentwicklung der Endlagerkonzepte im Rahmen des Arbeitspaketes 6 „Endlagerauslegung und Optimierung“ werden thermische Berechnungen für die betrachteten Einlagerungsvarianten ausgeführt. Dadurch ergeben sich ggf. Änderungen gegenüber den in diesem Endlagerkonzept gewählten Abständen zwischen den Endlagerbehältern, Strecken und Bohrlochern. Auslegungsbestimmend aus thermischen Gesichtspunkten ist eine

Höchsttemperatur von 200 °C an der Kontaktfläche zwischen den Endlagerbehältern und dem Salzgrusversatz, die über den betrachteten Zeitraum von 1 Mio. Jahren nicht überschritten werden darf. Die Temperaturgrenze unterschreitet zum einen die Schmelztemperatur von Salz (801 °C) und zum anderen die Grenze von ca. 230 °C, ab der die geringen Mengen an Kristallwasser (0,019 %) freigesetzt werden können /COM 84/. Als Betriebszeit für das Endlager wurden 40 Jahre zugrunde gelegt. Im Rahmen der Optimierung von Abläufen wird in Arbeitspaket 6 überprüft, inwieweit eine Anpassung erforderlich wird.

In den am 30.09.2010 veröffentlichten Sicherheitsanforderungen für die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle /BMU 10/ werden Anforderungen an die Handhabbarkeit der für diese Abfallart verwendeten Endlagerbehälter bis zu 500 Jahre nach Verschluss des Endlagers gestellt und die Möglichkeit der Rückholbarkeit in der Betriebszeit des Endlagers gefordert. Die Entscheidung, diese neue Anforderung auch in der Vorläufigen Sicherheitsanalyse Gorleben zugrunde zu legen, fiel während der Bearbeitung. Da es bisher nur wenige Untersuchungen zur Rückholbarkeit von Endlagerbehältern aus einem Endlager im Salz und keine konkrete Endlagerauslegung für diese Anforderung gibt, wurde folgende Vorgehensweise gewählt: Im Rahmen der vorliegenden Endlagerkonzeption wird davon ausgegangen, dass es für die Variante B1 (Streckenlagerung) technisch machbar ist, die eingelagerten Endlagerbehälter in der Betriebszeit zurück zu holen. In einer Studie /DBE 95a/ wurde die Rückholung von POLLUX®-Behältern untersucht und unter bestimmten Voraussetzungen als grundsätzlich technisch machbar bewertet.

Für das Konzept der Bohrlochlagerung (Variante C) ist eine solche Einschätzung derzeit nicht möglich. Diese Untersuchungen werden im anschließenden Arbeitspaket 6 „Endlagerauslegung und Optimierung“ durchgeführt. Als Grundlage dafür soll das Ergebnis des in diesem Bericht beschriebenen Endlagerkonzeptes der Bohrlochlagerung dienen, das ohne Rücksicht auf die Anforderung der Rückholung zunächst auf eine möglichst günstige Umsetzung des Sicherheitskonzeptes ausgerichtet ist.

### **1.3 Anforderungen im Hinblick auf Betriebssicherheit**

Der Nachweis des sicheren Endlagerbetriebes ist Voraussetzung für eine Betriebsgenehmigung. Insofern werden im Rahmen der Vorläufigen Sicherheitsanalyse Gorleben die betrieblichen Abläufe im Endlager hinsichtlich der Einhaltung von Sicherheitsvor-

schriften untersucht und mit Blick auf die in den Sicherheitsanforderungen des BMU /BMU 10/ formulierten Optimierungsziele bewertet (Arbeitspaket 12).

Für das vorliegende Endlagerkonzept wurde untersucht, ob es bereits zu Beginn der Endlagerplanung grundlegende Anforderungen aus Sicht der Betriebssicherheit gibt, die direkten Einfluss auf die Wahl der Einlagerungsvariante haben. So ist z. B. eine zu überprüfende Grundanforderung an den Betrieb des Endlagers, ob mit den geplanten Betriebsabläufen und der verfügbaren Betriebstechnik die Sicherheitsanforderungen des Bergbaus und des Strahlenschutzes im bestimmungsgemäßen Betrieb sowie bei Betriebsstörungen durch geeignete technische und/oder organisatorische Maßnahmen gewährleistet werden.

In einer vorläufigen Bewertung wurde seitens GRS dazu festgestellt, dass für die Variante B1 (Streckenlagerung von POLLUX<sup>®</sup>-Behältern) diese Fragestellung im Rahmen des FuE-Programms „Direkte Endlagerung ausgedienter Brennelemente“ hinreichend untersucht worden ist. Dabei wurde festgestellt, dass ein sicherer Transport und eine sichere Handhabung und Einlagerung von POLLUX<sup>®</sup>-Behältern gegeben ist. Insofern werden hierfür keine weiteren Anforderungen gestellt.

Für die Variante C (Bohrlochlagerung von Brennstabkaskillen und Triple-Packs) stehen diese Untersuchungen zum Teil noch aus. Die Einlagerungsvorrichtung, die Bohrlochschleuse und der Transferbehälter wurden gemäß Anforderungen aus KTA 3902 /KTA 99/ ausgelegt und gefertigt. Dies wurde durch unabhängige Sachverständige überprüft und bestätigt. Eine Ausnahme bildet hierbei das einsträngige Hubseil, das bei vollständiger Kompatibilität zur KTA 3902 zweisträngig auszuführen ist.

Die Auslegung und Fertigung der Brennstabkaskille respektive des Triple-Packs erfolgte bisher nicht in hinreichendem Tiefgang.

Weiterhin ist festzuhalten, dass das Herstellen von 300 m tiefen vertikalen Bohrlöchern in Serie mit den geforderten Genauigkeiten in der tolerierbaren Abweichung von der Vertikalen noch zu zeigen ist. Ebenso haben bisherige Demonstrationsversuche zur Erprobung der Einlagerung von Brennstabkaskillen nicht hinreichend gezeigt, ob die Einbringtechnik für Salzgrusversatz in den Ringraum zwischen Brennstabkaskille und Bohrlochwand sicher und zuverlässig betrieben werden kann. Lastabtragelemente, die im Einlagerungsbohrloch die Funktion haben, Stapellast von mehreren Brennstabkaskillen aufzunehmen und sicher in das Gebirge abzuleiten, sind ebenfalls hinsichtlich ihrer

Betriebssicherheit zu untersuchen. Bisher wurde in Demonstrationsversuchen nur die prinzipielle Machbarkeit des Lastabtragslements gezeigt.

In einer Demonstrationsanlage konnte nachgewiesen werden, dass mit der Einlagerungsvorrichtung eine sichere Einlagerung von Brennstabkaskillen und Triple-Packs in ein künstliches Bohrloch von 10 m Tiefe möglich ist. Für tiefere Einlagerungsbohrlöcher, so wie es in der Einlagerungsvariante C geplant ist, steht der Nachweis noch aus, dass die Maschine auch unter untertägigen Betriebsbedingungen sicher und zuverlässig betrieben werden kann.

Für die Variante C ist zu berücksichtigen, dass aufgrund BMU-Sicherheitsanforderungen /BMU 10/ diese Einlagerungsvariante hinsichtlich der Forderung der Rückholung der Abfälle in der Betriebsphase zu überprüfen ist. Insofern sollten weitere Prüfschritte zur Betriebssicherheit dann erfolgen, wenn die Entscheidung für ein entsprechend angepasstes Einlagerungskonzept für vertikale Bohrlocher gefallen und das Konzept dafür entwickelt wurde (Arbeitspaket 6).

#### **1.4 Anforderungen im Hinblick auf Human Intrusion**

In den Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle /BMU 10/ sind in Kapitel 5.1 Optimierungsziele genannt. Diese beziehen sich u. a. auf Strahlenschutz in der Betriebsphase, Betriebssicherheit des Endlagers und Zuverlässigkeit und Qualität des langfristigen Einschusses der Abfälle. Die Optimierung des Endlagers hinsichtlich Human Intrusion gemäß Kapitel 5.2 /BMU 10/ ist nachrangig zu den oben angeführten Optimierungszielen durchzuführen. Es wird dort in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen, dass zukünftige menschliche Aktivitäten nicht prognostiziert werden können, und deswegen Referenzszenarien für ein unbeabsichtigtes menschliches Eindringen in das Endlager zu analysieren seien. Diese Aufgabe wird in der Vorläufigen Sicherheitsanalyse Gorleben im Arbeitspaket 11 „Human Intrusion“ bearbeitet.

Im Rahmen der Konzeptfindungsphase für die Einlagerungsvarianten B1 (Streckenlagerung) und C (Bohrlochlagerung) wurde in Kooperation mit den Bearbeitern des Arbeitspaketes 11 untersucht, ob es Anforderungen im Hinblick auf die Reduktion der Wahrscheinlichkeit unbeabsichtigten menschlichen Eindringens (Human Intrusion) bzw. der Minimierung entsprechender radiologischer Konsequenzen gibt, die a priori

Auswirkungen auf die Wahl des Einlagerungskonzeptes haben können. Zu diesem Zweck wurden die Definition und die Rahmenbedingungen für Human Intrusion im Rahmen der Szenarientwicklung betrachtet.

Der Arbeitskreis Szenarientwicklung der VSG hat folgende Definition für Human Intrusion formuliert: „... alle menschlichen Aktivitäten nach Verschluss des Endlagerbergwerkes, die die Barrieren innerhalb des verfüllten und verschlossenen Grubengebäudes und des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches unmittelbar schädigen.“ Diese Definition wird im Rahmen der Vorläufigen Sicherheitsanalyse Gorleben (Arbeitspaket 11) übernommen.

Als Rahmenbedingungen wurde in VSG (Arbeitspaket 11) u. a. festgelegt, dass

- nur unbeabsichtigtes menschliches Eindringen zu betrachten,
- eine Prognose zukünftiger menschlicher Aktivitäten nicht möglich und
- eine Eintrittswahrscheinlichkeit nicht ableitbar ist.

Darüber hinaus wurde festgestellt, dass von den heutigen menschlichen Aktivitäten ausgehend, diejenigen zu identifizieren sind, die das Potenzial haben, Barrieren des Endlagersystems direkt zu schädigen. Die weiterführenden Überlegungen zeigten, dass Maßnahmen zur Verhinderung von Human Intrusion nur bedingt möglich sind. In Bezug auf mögliche konzeptionelle Optimierungsmaßnahmen des Endlagers wurde gefordert, die Konzeption des Endlagerbergwerkes so auszurichten, dass eine Separierung der unterschiedlichen Abfallarten und eine Abschottung der Endlagerbehälter in den Endlagerstrecken und -feldern vorgesehen werden. Dadurch sollen die radiologischen Konsequenzen insbesondere bei zukünftigen menschlichen Aktivitäten wie z. B. das Niederbringen von Aufschlussbohrungen in das Endlagersystem reduziert werden.

Es wurde festgehalten, dass die in Arbeitspaket 5 vorgesehenen und konzipierten Einlagerungsvarianten B1, (B2) und C bereits eine Einlagerung von unterschiedlichen Abfallarten in getrennten Feldern vorsehen. Insbesondere die räumliche Trennung der wärmeentwickelnden Abfälle von den Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung in unterschiedlichen Endlagerbereichen trägt dieser Forderung bereits Rechnung. Mit der geplanten Einlagerung der radioaktiven Abfälle in tiefe, geologische Formationen (870 m Teufe für Variante B1 und bis zu 1170 m Teufe für Variante C) ist eine wesentliche Maßnahme gegen Human Intrusion bereits berücksichtigt. Darüber hinaus

gehende konzeptrelevante Anforderungen wurden hinsichtlich Human Intrusion (Arbeitspaket 11) nicht erhoben.



## 2 Auswahl und Beschreibung der Endlagerbehälter

Für die Vorläufige Sicherheitsanalyse Gorleben (VSG) wurde von der GRS im Rahmen des Arbeitspaketes 3 das Abfallmengengerüst zusammengestellt. Dieses berücksichtigt die im September 2010 vom Bundestag beschlossene Verlängerung der Laufzeit der deutschen Kernkraftwerke. Im Folgenden werden die für die in dem Mengengerüst angegebenen Arten von radioaktiven Abfällen ausgewählten Endlagerbehälter beschrieben. Da es bisher keine genehmigungsreifen Behälterplanungen oder erteilte Zulassung gibt, werden aus der Hauptfunktion der Endlagerbehälter, die in ihnen verpackten radioaktiven Stoffe während des Transportes und der Einlagerung sicher und dicht zu umschließen, grundlegende Anforderungen abgeleitet, die im Rahmen weiterer Planungsphasen zu konkretisieren sind.

Für die Betriebsphase des Endlagers leiten sich die Anforderungen an die Behälter im Wesentlichen aus dem technischen Endlagerkonzept und dem jeweiligen Transport- und Handhabungssystem ab. In der Nachbetriebsphase sind die Anforderungen unmittelbar gekoppelt an den Zeitpunkt, von dem an andere Barrieren einen sicheren Einschluss der radioaktiven Stoffe gewährleisten /ISI 08/.

Für die Variante B1 (Streckenlagerung) sind selbstabschirmende Behälter vom Typ POLLUX<sup>®</sup> und CASTOR<sup>®</sup> vorgesehen, für die folgende Anforderungen gelten:

- mechanische Stabilität gegenüber dem im Einlagerungshorizont zu erwartenden Gebirgsdruck
- gasdichter Einschluss der im Endlagerbehälter verpackten radioaktiven Stoffe
- ausreichende Abschirmung der in dem Endlagerbehälter verpackten radioaktiven Stoffe während der Transport- und Handhabungsprozesse
- Langzeitstabilität gegenüber Korrosion bis zum Zeitpunkt, an dem andere Barrieren den sicheren Einschluss gewährleisten

Es wird für die vorliegende Endlagerkonzeption davon ausgegangen, dass die Anforderungen von den gewählten Behältern erfüllt werden. Nachweise dafür sind in weiteren Planungsphasen zu führen.

Für die Variante B2 (Differenzbetrachtung Transport- und Lagerbehälter) gelten dieselben Anforderungen wie für die Variante B1. Es wird auch bei diesem Behältertyp, der eine Zulassung für Transport und Lagerung über Tage hat, davon ausgegangen, dass die Anforderungen erfüllt werden können. Nachweise sind ebenfalls in weiteren Planungsphasen zu führen.

Für die Variante C (Bohrlochlagerung) sind unabgeschirmte Behälter vom Typ Brennstabkockille vorgesehen. Hierfür gelten folgende Anforderungen:

- gasdichter Einschluss der im Endlagerbehälter verpackten radioaktiven Stoffe
- mechanische Stabilität gegenüber noch zu definierender Gebirgsdrücke (abhängig vom gewählten Einlagerungskonzept, das die Anforderungen zur Rückholbarkeit gemäß BMU-Sicherheitsanforderungen /BMU 10/ erfüllen muss)
- Langzeitbeständigkeit gegenüber Korrosion muss im Zusammenhang mit dem gewählten Einlagerungskonzept, das Rückholung ermöglicht, geklärt werden

Darüber hinaus gelten gemäß BMU-Sicherheitsanforderungen /BMU 10/ hinsichtlich der Rückholbarkeit in der Betriebsphase und einer eventuellen Bergung in der Nachbetriebsphase folgende grundlegende Anforderungen:

- „Für die wahrscheinlichen Entwicklungen muss eine Handhabbarkeit der Abfallbehälter bei einer eventuellen Bergung aus dem stillgelegten und verschlossenen Endlager für einen Zeitraum von 500 Jahren gegeben sein. Dabei ist die Vermeidung der Freisetzung von radioaktiven Aerosolen zu beachten.“
- „In der Betriebsphase bis zum Verschluss der Schächte oder Rampen muss eine Rückholung der Abfallbehälter möglich sein.“

Die vorgenannten Anforderungen gelten nicht für Endlagerbehälter mit vernachlässigbar wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen.

Die Beschreibung der Endlagerbehälter erfolgt getrennt für die in Kapitel 1.1 aufgeführten Einlagerungsvarianten. Dabei werden Angaben aus verschiedenen FuE-Vorhaben /ISI 08, KFK 89, TEC 10, TEC 11b/ und ergänzend dazu Angaben der Gesellschaft für Nuklear-Service mbH /GNS 10a/ herangezogen. Für die Beschreibung der Endlagerbehälter mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung (optionale Variante A), wird auf die Endlagerungsbedingungen Konrad /BRE 95/ zurückgegriffen.

## 2.1 Endlagerbehälter für die Einlagerungsvariante B1 (Streckenlagerung)

Für die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in horizontalen Strecken (Variante B1) werden folgende POLLUX<sup>®</sup>- und CASTOR<sup>®</sup>-Behälter ausgewählt:

- Brennstäbe ausgedienter Brennelemente aus DWR, SWR und WWER in POLLUX<sup>®</sup>-Behältern (POLLUX<sup>®</sup>-10),
- CSD-V (HAW-Kokillen), CSD-B und CSD-C in POLLUX<sup>®</sup>-Behältern (POLLUX<sup>®</sup>-9),
- ausgediente Brennelemente aus Versuchs- und Prototyp-Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren in Transport- und Lagerbehältern (CASTOR<sup>®</sup>-Behältern).

POLLUX<sup>®</sup>-Behälter wurden für die Endlagerung in Salz konzipiert und ausgelegt. Für die CASTOR<sup>®</sup>-Behälter für die ausgedienten Brennelemente aus Versuchs- und Prototyp-Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren sind solche Planungen nachzuholen. Im Rahmen dieser Konzeptplanung wird angenommen, dass die Behälter für die Endlagerung geeignet sind.

In Tab. 2.1 sind die wichtigsten Daten zu den Endlagerbehältern für die Variante B1 (Streckenlagerung) zusammengestellt.

**Tab. 2.1** Abmessungen und Masse der Endlagerbehälter für die Variante B1 (Streckenlagerung)

Endlagerbehälter	Länge/ Höhe [mm]	Durch- messer [mm]	Gebinde- volumen [m <sup>3</sup> ]	Max. Gebinde- masse [Mg]	Trans- port- gebinde- volumen [m <sup>3</sup> ]
POLLUX <sup>®</sup> -10/ POLLUX <sup>®</sup> -9*	5.517	1.560 <sup>1)</sup>	10,55	65	10,55
CASTOR <sup>®</sup> THTR/AVR	2.784	1.380 <sup>1)</sup>	4,16	26	4,16
CASTOR <sup>®</sup> KNK	2.784	1.380 <sup>1)</sup>	4,16	26	4,16
CASTOR <sup>®</sup> MTR 2	1.631	1.430 <sup>1)</sup>	2,62	16	2,62

1) ohne Tragzapfen

\*) Annahme: gleiche Dimension und Masse wie POLLUX<sup>®</sup>-10

### **2.1.1 POLLUX®-10**

Der POLLUX®-10 /ISI 08/ besteht aus einem Innen- und einem Außenbehälter. Der Innenbehälter besteht aus Feinkornbaustahl (Werkstoff 1.6210), hat eine Wandstärke von 160 mm und wird durch einen geschraubten Primärdeckel und einen geschweißten Sekundärdeckel dicht verschlossen. Der Innenraum ist in fünf Kammern unterteilt, in die je eine Brennstabbüchse mit Brennstäben von 2 DWR-BE oder 6 SWR-BE eingesetzt werden kann. Unter geometrischen Gesichtspunkten können die Brennstabbüchsen auch die gezogenen Brennstäbe von 5 WWER-BE aufnehmen. In der innen angeordneten, quadratischen Büchse können anstatt der Brennelementstäbe gepresste Strukturelemente eingebracht werden. Im Rahmen der VSG wird davon kein Gebrauch gemacht. In Abb. 2.1 ist beispielhaft ein POLLUX®-Behälter mit den gezogenen Brennstäben aus 10 DWR-BE (POLLUX®-10) dargestellt.

Der äußere Abschirmbehälter ist wie der Primär- und Sekundärdeckel aus Sphäroguss (Werkstoff 0.7040) hergestellt und hat eine Wandstärke von ca. 270 mm. Dieser Abschirmbehälter hat keine Dichtfunktion zu übernehmen und wird mit einem verschraubten Deckel verschlossen. Im Mantel sind in radial verteilten Bohrungen Stäbe aus Polyethylen zur Verringerung der Neutronendosisleistung eingesetzt.

Der strukturelle Behälteraufbau und die Materialauswahl gewährleisten die grundlegenden Anforderungen hinsichtlich Rückholbarkeit in der Betriebsphase. Hinsichtlich der Anforderung einer Handhabbarkeit des Behälters bis 500 Jahre nach Verschluss des Endlagers scheint dies ebenfalls zuzutreffen. Im Rahmen der weiterführenden Endlagerauslegung (Arbeitspaket 6) wird diese Fragestellung untersucht.

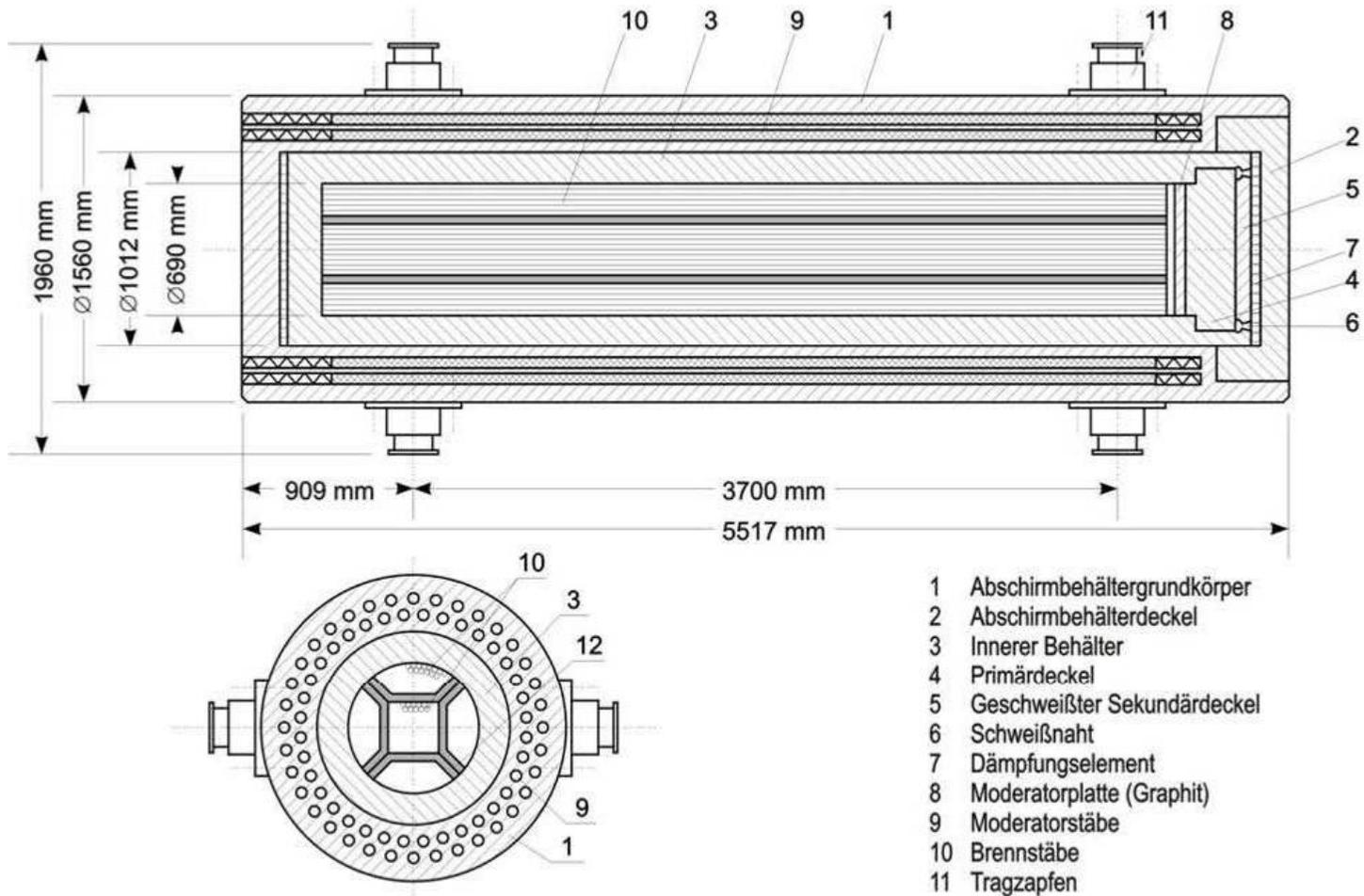
### **2.1.2 POLLUX®-9**

Im Rahmen einer früheren Studie (Systemanalyse Mischkonzept /KFK 89/), in der systematisch Endlagerkonzepte für unterschiedliche Mengen von Wiederaufarbeitungsabfällen und ausgedienten Brennelementen untersucht wurden, wurde ein fiktiver Behälter (HAW- POLLUX®) angenommen. Dieser hat ein räumliches Fassungsvermögen von 3 x 3 gestapelten HAW-Kokillen. Der Aufbau des HAW- POLLUX® entspricht dem bekannten POLLUX®-10 (s. Kapitel 2.1.1) mit stärkerer Abschirmung. Im Folgenden wird der HAW- POLLUX® als POLLUX®-9 bezeichnet.

In diesem Vorhaben werden folgende Annahmen getroffen:

- Der prinzipielle Aufbau, die äußeren Abmessungen und die Gesamtmasse des POLLUX<sup>®</sup>-9 entsprechen denen des POLLUX<sup>®</sup>-10.
- Je POLLUX<sup>®</sup>-9 wird von einer Beladung mit 9 CSD-V (HAW-Kokillen), 9 CSD-B oder 9 CSD-C ausgegangen.

Für den POLLUX<sup>®</sup>-9 gelten die gleichen Aussagen hinsichtlich Rückholbarkeit in der Betriebsphase und Handhabbarkeit bis zu 500 Jahre nach Verschluss des Endlagers wie beim POLLUX<sup>®</sup>-10.



**Abb. 2.1** POLLUX®-Behälter, mit gezogenen Brennstäben aus 10 DWR-BE (POLLUX®-10)

### 2.1.3 CASTOR® THTR/AVR, CASTOR® KNK

Die CASTOR®-Behälter der Typen THTR/AVR und KNK /ISI 08/ (s. Abb. 2.2) bestehen aus einem zylindrischen Grundkörper aus Gusseisen mit Kugelgraphit (Werkstoff 0.7040) und aus zwei übereinanderliegenden, einzeln abgedichteten Deckeln (Primär- und Sekundärdeckel) aus Gusseisen bzw. aus unlegiertem Baustahl (Werkstoff St 52-3 oder TSt E 355). Zum Schutz des Deckelsystems vor Staub, Feuchtigkeit und mechanischen Einwirkungen, beispielsweise bei der Handhabung, kann der CASTOR®-Behälter mit einer Schutzplatte aus Kohlenstoffstahl (St 52 3) versehen werden. Zur Handhabung wird der Behälter oben und unten jeweils mit zwei Tragzapfen ausgerüstet.

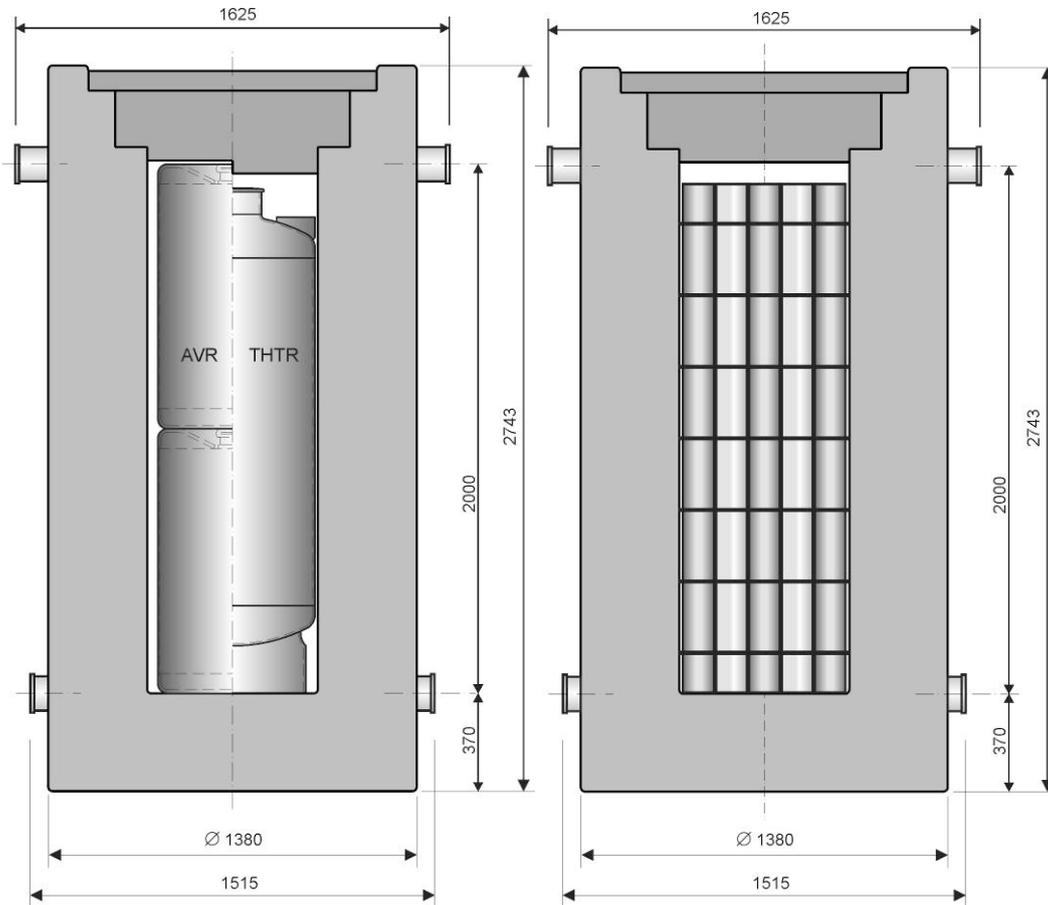
Die dichte Umschließung wird vom Behälterkörper, dem Primärdeckel mit Verschraubung und Metalldichtring und der Verschlusskappe im Primärdeckel einschließlich deren Metalldichtring und Verschraubung gebildet oder von dem Behälterkörper und dem Sekundärdeckel mit Metalldichtring und Verschraubung sowie den im Sekundärdeckel vorhandenen Verschlüssen (Verschlusskappe und Blindflansch oder Druckschalter) einschließlich deren Metalldichtring und Verschraubung.

Der CASTOR® THTR/AVR enthält einen zylindrischen Innenraum zur Aufnahme einer Stahlkanne mit etwa 2.100 THTR-BE oder zur Aufnahme von zwei Stahlkannen mit insgesamt ca. 1.900 AVR-BE.

Beim CASTOR® KNK befindet sich im Behälterschachtraum ein Tragkorb, der jeweils neun verschweißte Büchsen mit bestrahlten und unbestrahlten Kernbrennstoffen aufnimmt. Es existieren zwei Tragkorbvarianten. Die Variante 1 nimmt neun Büchsen vom Typ Phenix, die Variante 2 nimmt acht Büchsen vom Typ Phenix und in der zentralen Tragkorbposition eine Büchse vom Typ OH auf. Die Phenix-Büchsen enthalten Kernbrennstoffe aus der kompakten natriumgekühlten Kernreaktoranlage KNK II (33 Stück) oder Kernbrennstoffe aus Nuklearexperimenten (2 Stück: Mol-1 und Mol-2). In einer OH-Büchse sind Kernbrennstoffe aus dem Nuklearschiff Otto-Hahn verpackt /WTI 06/.

Die CASTOR®-Behälter vom Typ THTR/AVR und CASTOR® KNK haben eine Zulassung für den Transport und die Zwischenlagerung von ausgedienten Brennelementen aus Forschungs- und Prototypreaktoren. Der Eignungsnachweis solcher Behälter für die Endlagerung ist noch zu erbringen. Für die Endlagerkonzeption im Rahmen der Vorläufigen Sicherheitsanalyse Gorleben wird angenommen, dass dies möglich ist.

Abb. 2.2 zeigt die schematische Darstellung eines CASTOR® THTR/AVR mit zwei Stahlkannen für AVR-BE und mit einer Stahlkanne für THTR-BE (links) und eines CASTOR® KNK mit Phenix-Büchsen (rechts).



**Abb. 2.2** CASTOR® THTR/AVR mit zwei Stahlkannen für AVR-BE und mit einer Stahlkanne für THTR-BE (links) und CASTOR® KNK mit Phenix-Büchsen (rechts) /TEC 11a/ (Angaben in mm)

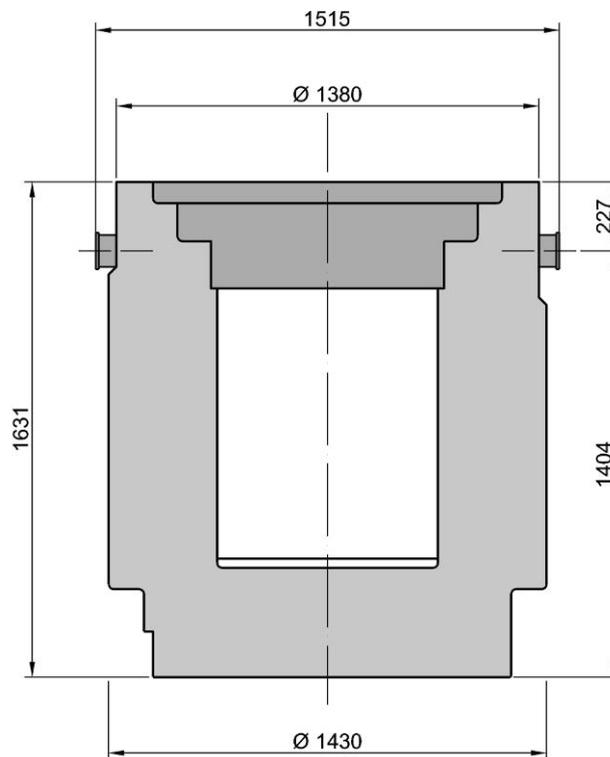
#### 2.1.4 CASTOR® MTR 2

Der CASTOR® MTR 2 /ISI 08/ besteht aus einem einteiligen, dickwandigen zylindrischen Behälterkörper mit Boden aus Gusseisen mit Kugelgraphit (Werkstoff 0.7040). Am oberen Zylinderende sind der Primärdeckel (Werkstoff 1.0566 oder 1.4313) und der Sekundärdeckel (Werkstoff 1.0566) angeordnet. Die dichte Umschließung wird gebildet durch den Behälterkörper und den Primärdeckel mit seinem Verschlussdeckel und den zugehörigen Metaldichtungen und Verschraubungen bzw. alternativ durch den Sekundärdeckel mit seinem Verschlussdeckel und dem Druckschalter oder Blind-

flansch mit den zugehörigen Verschraubungen und Metaldichtungen. Im Behälterinnenraum ist einer von sechs möglichen Tragkörben angeordnet.

Abb. 2.3 zeigt eine schematische Darstellung eines CASTOR<sup>®</sup> MTR 2. Es sind verschiedene Beladevarianten mit Brennelementen aus verschiedenen Forschungsreaktoren zulässig, darunter die des Rossendorfer Forschungsreaktors (RFR) des Forschungsreaktors München (FRM II), des Forschungsreaktors Berlin (BER II) und des Forschungsreaktors Mainz (FRMZ).

Für die Eignung der CASTOR<sup>®</sup> MTR 2 als Endlagerbehälter gilt die gleiche Aussage wie für die CASTOR<sup>®</sup>-Behälter der Typen THTR/AVR und KNK.



**Abb. 2.3** CASTOR<sup>®</sup> MTR 2 /TEC 11a/

## **2.2 Endlagerbehälter für die Einlagerungsvariante B2 (Differenzbetrachtung zur Streckenlagerung)**

Bei der Differenzbetrachtung zur Streckenlagerung (Variante B2) wird die Verwendung von Transport- und Lagerbehältern (TLB) als Endlagerbehälter für die DWR-, SWR- und WWER-BE in CASTOR<sup>®</sup> V/19, CASTOR<sup>®</sup> V/52, CASTOR<sup>®</sup> 440/84 und der Wie-

deraufarbeitungsabfälle in CASTOR® HAW 20/28 CG, TS 28 V, CASTOR® HAW 28M, TN85 und TGC36 betrachtet. Diese Transport- und Lagerbehälter haben eine Zulassung für den Transport und die Zwischenlagerung von ausgedienten Brennelementen und Wiederaufarbeitungsabfällen. Der Eignungsnachweis solcher Behälter für die Endlagerung ist noch zu erbringen. Für die Endlagerkonzeptplanung im Rahmen der Vorläufigen Sicherheitsanalyse Gorleben wird angenommen, dass dies möglich ist. In Tab. 2.2 sind die wichtigsten Daten zu den Endlagerbehältern für die Differenzbetrachtung zur Streckenlagerung zusammengestellt.

**Tab. 2.2** Abmessungen und Masse der Endlagerbehälter für die Variante B2 (Differenzbetrachtung)

Endlagerbehälter	Länge/ Höhe [mm]	Durch- messer [mm]	Gebinde- volumen [m <sup>3</sup> ]	Max. Gebinde- masse [Mg]	Transport- gebinde- volumen [m <sup>3</sup> ]
CASTOR® V/19	5.940 <sup>1)</sup>	2.440	27,8	126	27,8
CASTOR® V/52	5.530 <sup>1)</sup>	2.440	25,9	124	25,9
CASTOR® 440/84	4.080	2.660	22,7	116	22,7
CASTOR® HAW 20/28 CG	6.110 <sup>1)</sup>	2.480	29,5	112	29,5
TS 28 V	6.100 <sup>1)</sup>	2.500	29,9	112	29,9
CASTOR® HAW 28M	6.122 <sup>1)</sup>	2.430	28,4	115	28,4
TN 85	6.200 <sup>1)</sup>	2.480	29,9	110	29,9
TGC36	Keine Angaben, da der Behälter derzeit entwickelt wird				

<sup>1)</sup> Inkl. Schutzplatte

### 2.2.1 CASTOR® V/19

Der CASTOR® V/19 (s. Abb. 2.4) /GNS 10a/ ist für den Transport und die Lagerung von bis zu 19 DWR-BE ausgelegt. Die zulässige Gesamtwärmeleistung beträgt 39 kW und die zulässige Gesamtaktivität 1.900 PBq.

Der Behälter besteht aus einem monolithischen Körper aus Sphäroguss in Form eines einseitig geschlossenen Hohlzylinders, einem Tragkorb zur Aufnahme der Brennelemente und dem übereinander angeordneten Verschlusssystem (Primär- und Sekundärdeckel) sowie einer Schutzplatte.

An der äußeren Mantelfläche des Behälterkörpers sind zur Verbesserung der passiven Wärmeabfuhr Radialrippen eingearbeitet. Primär- und Sekundärdeckel sind aus rostfreiem Stahl gefertigt und werden mit dem Behälterkörper fest verschraubt. Sie gewährleisten in Verbindung mit Metaldichtungen den sicheren Einschluss der Brennelemente. Im Zwischenlager werden die beiden unabhängigen Barrieren des Verschlusssystems permanent auf ihre Dichtheit überwacht. Die Überwachung übernimmt ein Druckschalter, der im Sekundärdeckel integriert ist.

An der boden- und deckelseitigen Mantelfläche des Behälterkörpers sind zum Anbringen von Handhabungseinrichtungen jeweils paarweise Tragzapfen angeschraubt. Während des Transports auf öffentlichen Straßen ist der Behälter (ohne Schutzplatte) mit Stoßdämpfern ausgerüstet.

Es wird ergänzend darauf hingewiesen, dass Areva TN International den Behälter TN 24 E Behälter auslegt und fertigt. Der TN 24 E ist für die Aufnahme von 21 DWR-BE ausgelegt.

### **2.2.2 CASTOR® V/52**

Der CASTOR® V/52 (s. Abb. 2.5) /GNS 10a/ ist für den Transport und die Lagerung von bis zu 52 SWR-BE ausgelegt. Die zulässige Gesamtwärmeleistung beträgt 40 kW und die zulässige Gesamtaktivität 1.730 PBq.

Die Beschreibung des CASTOR® V/19 hinsichtlich Behälteraufbau, Tragkorb, Verschlusssystem, Neutronenabschirmung, Handhabung, Tragzapfen und Transport mit Stoßdämpfern (s. Kapitel 2.2.1) gilt gleichermaßen für CASTOR® V/52. Lediglich die Abmessungen und Gewichte weichen von denen des CASTOR® V/19 ab (s. Tab. 2.2).

### **2.2.3 CASTOR® 440/84**

Der CASTOR® 440/84 (s. Abb. 2.6) /GNS 10a/ ist für den Transport und die Lagerung von bis zu 84 DWR-BE des Typs WWER 70 oder WWER 440 (in Deutschland: KKW Greifswald und Rheinsberg) ausgelegt. Die zulässige Gesamtwärmeleistung beträgt 21 kW.

Die Beschreibung des CASTOR<sup>®</sup> V/19 hinsichtlich Behälteraufbau, Tragkorb, Verschlussystem, Handhabung, Tragzapfen und Transport mit Stoßdämpfern (s. Kapitel 2.2.1) gilt gleichermaßen für CASTOR<sup>®</sup> 440/84.

#### **2.2.4 CASTOR<sup>®</sup> HAW 20/28 CG und TS 28 V**

Die Behälter CASTOR<sup>®</sup> HAW 20/28 CG und TS 28 V sind für die Aufnahme von 20 oder 28 Kokillen mit verglastem hochradioaktivem Abfall (CSD-V bzw. HAW-Kokillen) aus der Wiederaufarbeitung ausgedienter Brennelemente in Frankreich und Großbritannien ausgelegt.

Beide Behälter sind für den Transport der Wiederaufarbeitungsabfälle aus Frankreich und Großbritannien nach Deutschland und ihre anschließende Zwischenlagerung in Deutschland vorgesehen. Die Behälter unterscheiden sich in ihrer Auslegung und in ihrer Abschirmwirkung:

- Der CASTOR<sup>®</sup> HAW 20/28 CG (s. Abb. 2.7) /GNS 10a/ besteht aus einem dickwandigen zylindrischen Sphärogusskörper mit eingearbeiteten Radialrippen an der Behälteroberfläche. Am Kopf- und Fußende sind Tragzapfen zur Handhabung angebracht. Zwei verschiedene Tragkorbkonstruktionen ermöglichen die Aufnahme von 20 oder 28 Kokillen. Ein Doppeldeckelsystem aus Schmiedestahl mit Metall- und Elastomerdichtungen wird mit dem Behälterkörper fest verschraubt.
- Die Transportkonfiguration des TS 28 V (s. Abb. 2.8) /GNS 10a/ basiert auf einer Entwicklung der Firma Transnucléaire, Paris. Für den Einsatz als Transport- und Lagerbehälter in Deutschland wurde er von der Gesellschaft für Nuklear-Behälter (GNB) entsprechend den Anforderungen der deutschen Behörden weiterentwickelt. Der Behälter besteht aus einem Grundkörper aus Schmiedestahl mit einem Außenmantel aus Stahl, der durch angeschweißte Kupferstege am Grundkörper befestigt ist. Der Boden aus Schmiedestahl ist angeschweißt. Zwei austauschbare Einsatzkörbe sind für die Aufnahme von 20 oder 28 Kokillen ausgelegt. Das Doppeldeckelsystem des TS 28 V besteht aus Schmiedestahl mit Metalldichtungen und edelstahlplattierten Dichtflächen.

Das Doppeldeckelsystem beider Behälter gewährleistet den sicheren Einschluss der Kokillen und des darin befindlichen verglasten Abfalls.

### **2.2.5 TN 85**

Der Behälter TN 85 (s. Abb. 2.9) ist für den Transport und die Zwischenlagerung von jeweils 28 Kokillen mit verglastem hochradioaktivem Abfall (CSD-V bzw. HAW-Kokillen) von TN International, einer Tochtergesellschaft von Areva NC, entwickelt worden /GNS 08/. In seiner Konstruktion ähnelt er dem TS 28 V.

Der Behälter besteht aus einem Schmiedestahlkörper und einem Schmiedestahlboden, der angeschweißt ist. Als Kühlrippen werden Aluminiumprofile verwendet, die mit dem Behälterkörper verschraubt sind. Insgesamt kommen 40 Profile mit je drei Kühlrippen zum Einsatz. Zwischen dem Behälterkörper und den Aluminiumprofilen wird zur Abschirmung Harz und Blei eingesetzt. Beide Materialien sind durch eine Stahlplatte voneinander getrennt. Er ist mit einem Doppeldeckelsystem bei der Zwischenlagerung verschlossen.

### **2.2.6 CASTOR® HAW 28 M**

Der Behälter CASTOR® HAW 28 M (s. Abb. 2.10) ist für die Aufnahme von 28 Kokillen mit verglastem hochradioaktivem Abfall (CSD-V bzw. HAW-Kokillen) ausgelegt. Die zulässige Gesamtwärmeleistung beträgt 56 kW und die zulässige Gesamtaktivität 1.270 PBq.

Der CASTOR® HAW 28 M ist für den Transport der hochradioaktiven Wiederaufarbeitungsabfälle aus Frankreich und Großbritannien nach Deutschland und ihre anschließende Zwischenlagerung in Deutschland vorgesehen.

Nach derzeitigen Planungen ist der CASTOR® HAW 28 M auch für den Transport von 28 Kokillen mit verglastem mittelradioaktivem Abfall (CSD-B) aus der Wiederaufarbeitung in Frankreich nach Deutschland und ihre anschließende Zwischenlagerung in Deutschland vorgesehen.

Der Behälter besteht aus einem dickwandigen zylindrischen Sphärogusskörper. Zur Neutronenabschirmung sind in der Behälterwand in Bohrungen Stangen aus Polyethylen angeordnet. Zusätzlich sind Abschirmelemente im Korb, eine Moderatorplatte im Bodenbereich und eine mehrteilige Moderatorplatte an der Oberseite des Primärdeckels angebracht. In der Lagerkonfiguration ist der Sekundärdeckel mit dem Behälterkörper fest verschraubt.

An der äußeren Mantelfläche des Behälterkörpers sind zur Verbesserung der passiven Wärmeabfuhr Radialrippen eingearbeitet. An der boden- und deckelseitigen Mantelfläche des Behälterkörpers sind zur Handhabung und zur Fixierung des Behälters beim Transport jeweils paarweise Tragzapfen angebracht. Während des Transports auf öffentlichen Straßen ist der Behälter mit Stoßdämpfern ausgerüstet.

### **2.2.7 TGC 36**

Der Behälter TGC 36 wird derzeit für die Aufnahme von 36 Kokillen mit kompaktierten mittelradioaktiven Brennelementhülsen, Strukturteilen und Technologieabfällen (CSD-C) ausgelegt. Der TGC 36 ist für den Transport der Wiederaufarbeitungsabfälle aus Frankreich nach Deutschland und ihre anschließende Zwischenlagerung in Deutschland vorgesehen.

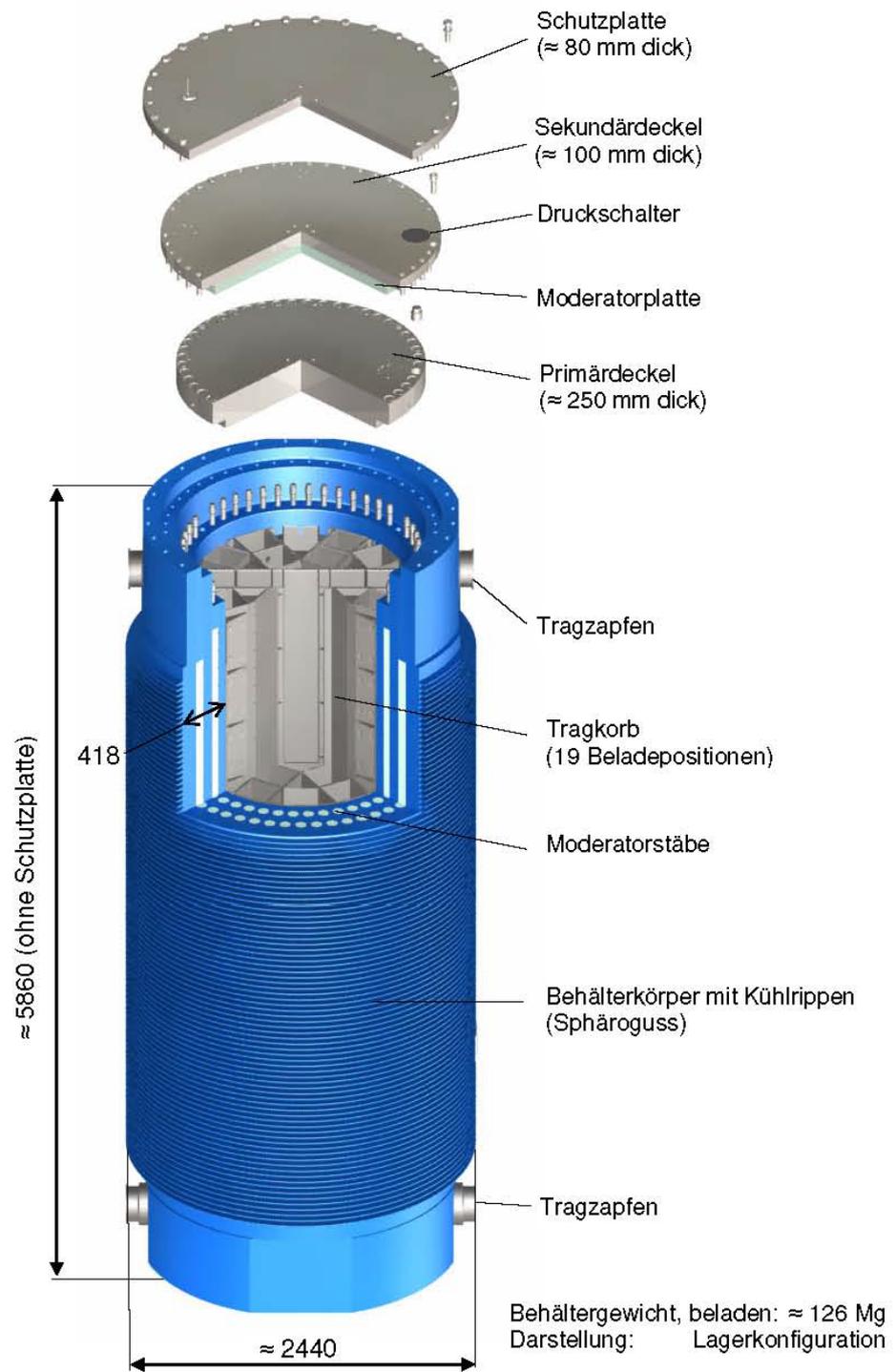
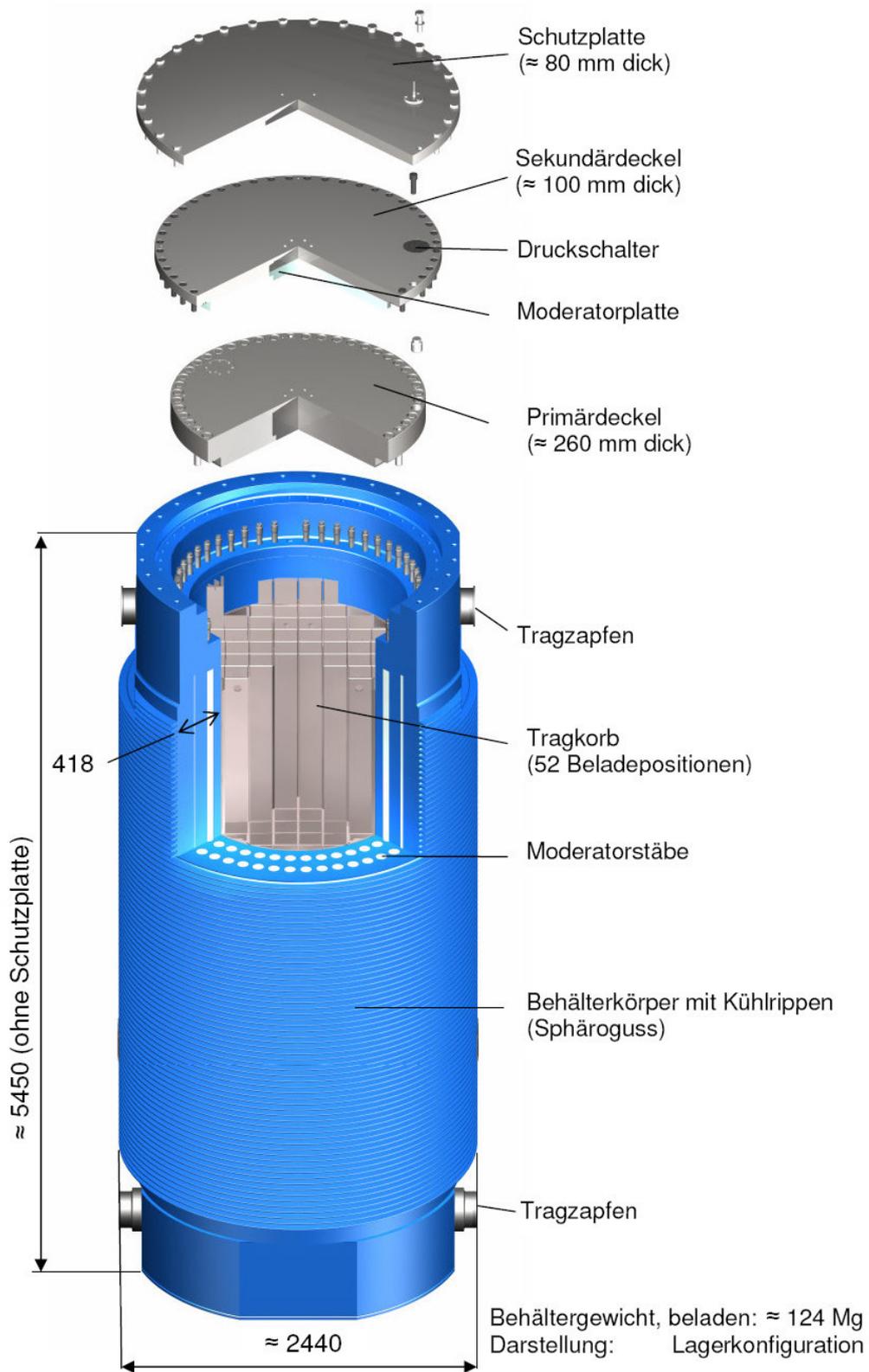
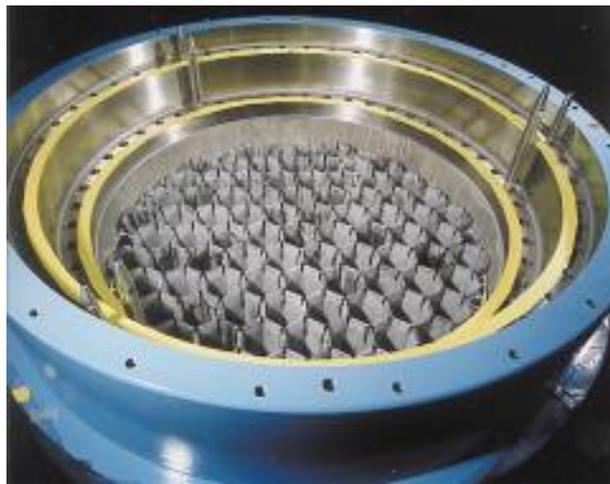


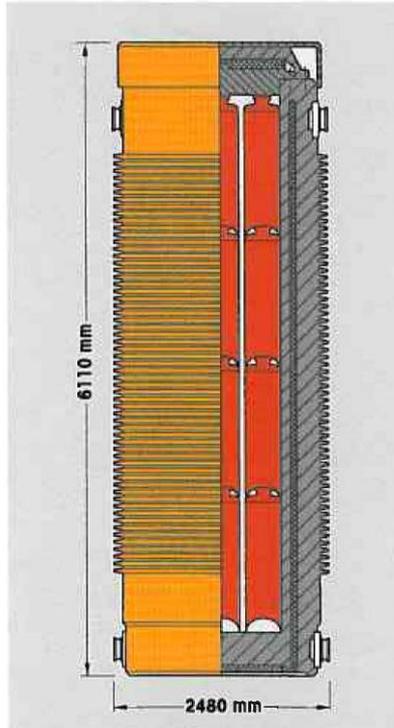
Abb. 2.4 CASTOR<sup>®</sup> V/19 (Quelle: /GNS 10a/)



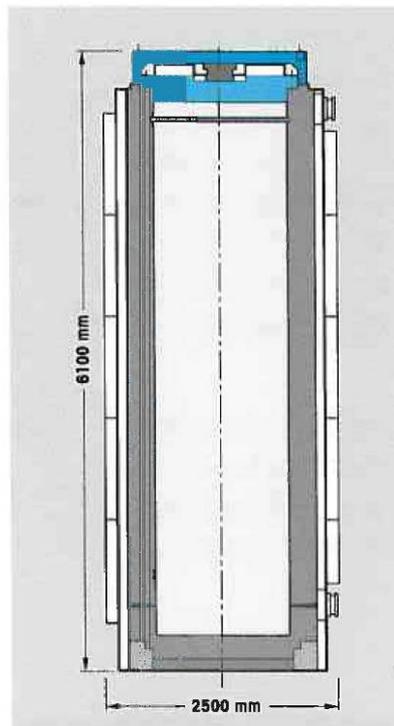
**Abb. 2.5** CASTOR® V/52 (Quelle: /GNS 10a/)



**Abb. 2.6** CASTOR<sup>®</sup> 440/84, Behälter und Tragkorb (Quelle: /GNS 10a/)



**Abb. 2.7** CASTOR<sup>®</sup> HAW 20/28 CG (Quelle: /GNS 10a/)



**Abb. 2.8** TS 28 V (Quelle: /GNS 10a/)

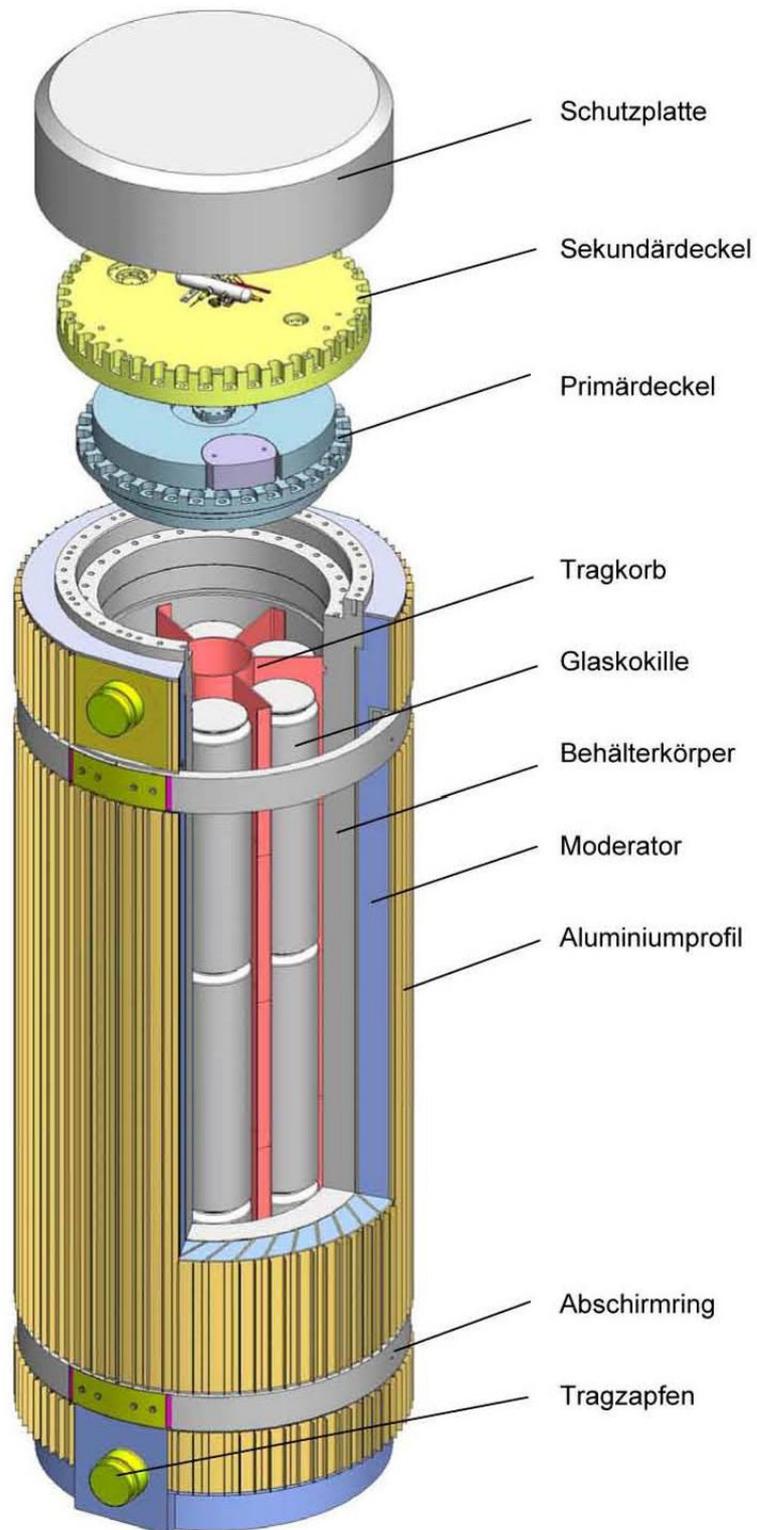
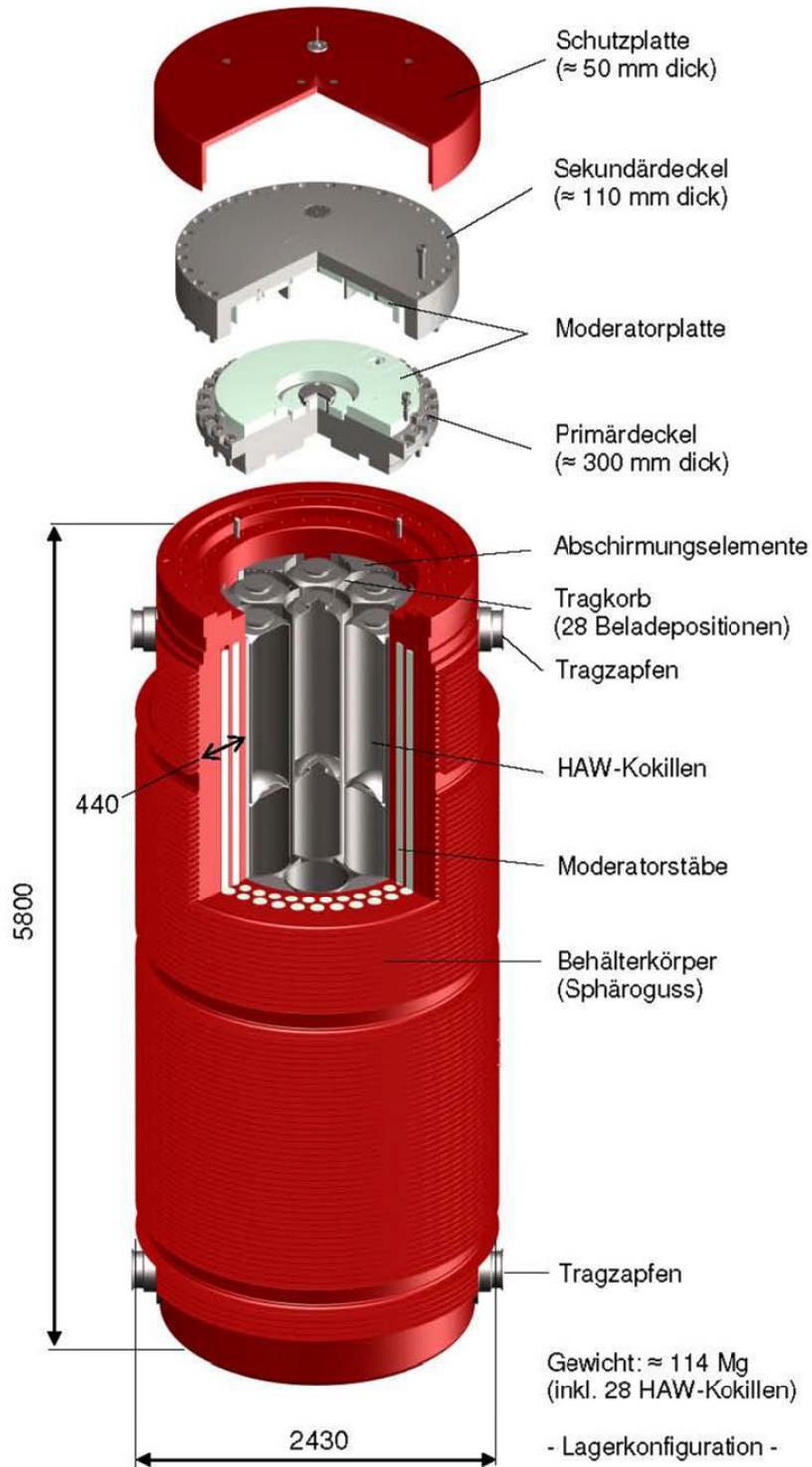


Abb. 2.9 TN 85 (Quelle: /GNS 10a/)



**Abb. 2.10** CASTOR<sup>®</sup> HAW 28 M (Quelle: /GNS 10a/) (Angaben in mm)

### 2.3 Endlagerbehälter für die Einlagerungsvariante C (Bohrlochlagerung)

Die Bohrlochlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle (Variante C) in tiefen vertikalen Bohrlöchern wird wie folgt betrachtet:

- Brennstäbe von DWR-, SWR- und WWER-BE in Brennstabkokillen (BSK),
- CSD-V (HAW-Kokillen), CSD-B und CSD-C in Triple-Packs (jeweils 3 Kokillen in einem Behälter, der in Form und Dimension der Brennstabkokille mit Standardabmessungen entspricht),
- ausgediente Brennelemente aus Versuchs- und Prototyp-Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren in modifizierten Brennstabkokillen mit Standardabmessungen und Brennstabkokillen.

In Tab. 2.3 sind die wichtigsten Daten zu den Endlagerbehältern für die Bohrlochlagerung zusammengestellt. Es wird der derzeitige Stand der Behältergeometrie dargestellt. Aufgrund noch ausstehender Festigkeitsnachweise können sich die Behälterabmessungen, insbesondere die Wandstärken, noch ändern. Für die BSK liegen Entwurfsplanungen vor und es existieren für BSK und Triple-Packs Handhabungsdummies. Für modifizierte BSK gibt es bisher lediglich Konzeptideen.

**Tab. 2.3** Abmessungen und Masse der Endlagerbehälter für die Variante C (Bohrlochlagerung)

Endlagerbehälter	Länge/ Höhe [mm]	Durch- messer [mm]	Gebinde- volumen [m <sup>3</sup> ]	Max. Gebinde- masse [Mg]	Transport- gebinde- volumen [m <sup>3</sup> ]
BSK	4.980	430 440 <sup>1)</sup>	0,72	5,3	7,4 <sup>3)</sup>
Triple-Pack	4.980	441	0,76	< 5,3 <sup>2)</sup>	7,4 <sup>3)</sup>
Modifizierte BSK	4.980	705 715 <sup>1)</sup>	1,94	< 5,3 <sup>2)</sup>	7,4 <sup>3)</sup>

1) Durchmesser im Deckelbereich

2) Massenangabe abgeschätzt

3) Transferbehälter: l = 5.570 mm, d = 1.305 mm

### **2.3.1 Brennstabkokillen (BSK)**

Die Brennstabkokille BSK (s. Abb. 2.11) wurde als Alternative zum POLLUX<sup>®</sup>-Behälter zur Aufnahme der gezogenen Brennstäbe von 3 DWR-BE oder 9 SWR-BE (in zwei Brennstabbüchsen) entworfen /ISI 08/. Unter geometrischen Gesichtspunkten kann die BSK auch die gezogenen Brennstäbe von 7,5 WWER-BE aufnehmen. Die BSK besteht aus einem zylindrischen Behälterkörper mit 40 mm Wandstärke und einem angepressten oder angeschweißten Boden. Der Behälterkörper besteht wie der Primär- und Sekundärdeckel der BSK aus Feinkornbaustahl (Werkstoff 1.6210). Der innere Schacht-raum wird zunächst durch Verschrauben mit einem Primärdeckel verschlossen. In einer Aussparung in der Deckelunterseite wird eine Moderatorplatte zur Neutronenabschirmung eingelegt. Über den Primärdeckel wird ein Sekundärdeckel aufgelegt, der mit dem Behälterkörper gasdicht verschweißt wird. Zur Handhabung des Behälters weist der Schweißdeckel einen Tragpilz auf.

In diesem Vorhaben wird angenommen, dass BSK mit Standardabmessungen für die folgenden Beladungen verwendet werden:

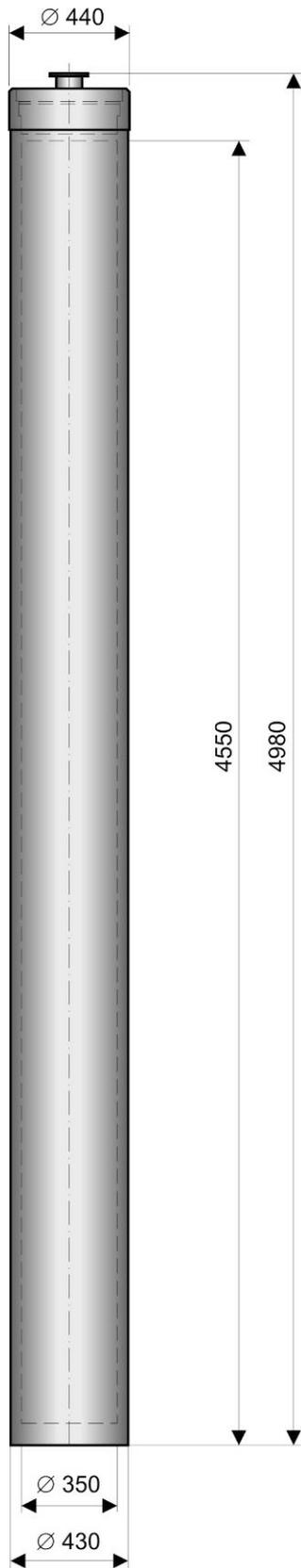
- Brennstäbe von 3 DWR-BE, 9 SWR-BE oder 7,5 WWER-BE
- Brennstäbe aus KNK + Otto Hahn in Brennstabbüchsen
- FRM II-, BER II- und FRMZ-BE

### **2.3.2 Triple-Pack**

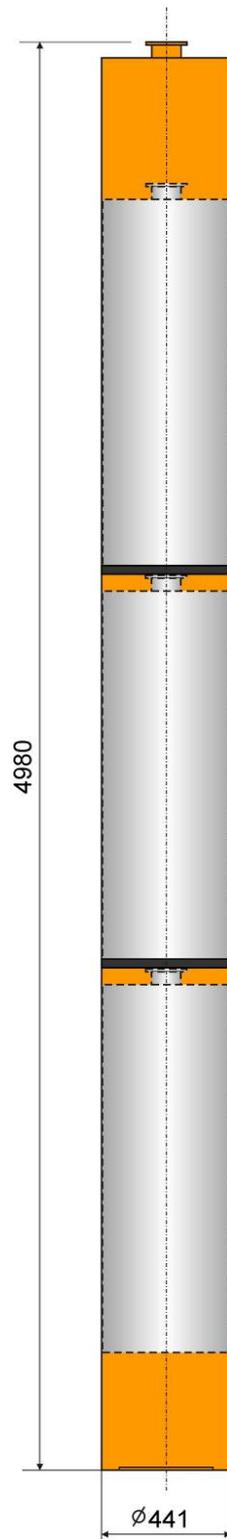
Beim Triple-Pack handelt es sich um 3 HAW-Kokillen (CSD-V), 3 CSD-B oder 3 CSD-C in einem zylindrischen Behälterkörper (Overpack) mit 5 mm Wandstärke /TEC 10/. Die Kokillen werden in dem Overpack durch Abstandshalter fixiert. Abb. 2.12 zeigt eine schematische Darstellung eines Triple-Packs.

### **2.3.3 Modifizierte BSK**

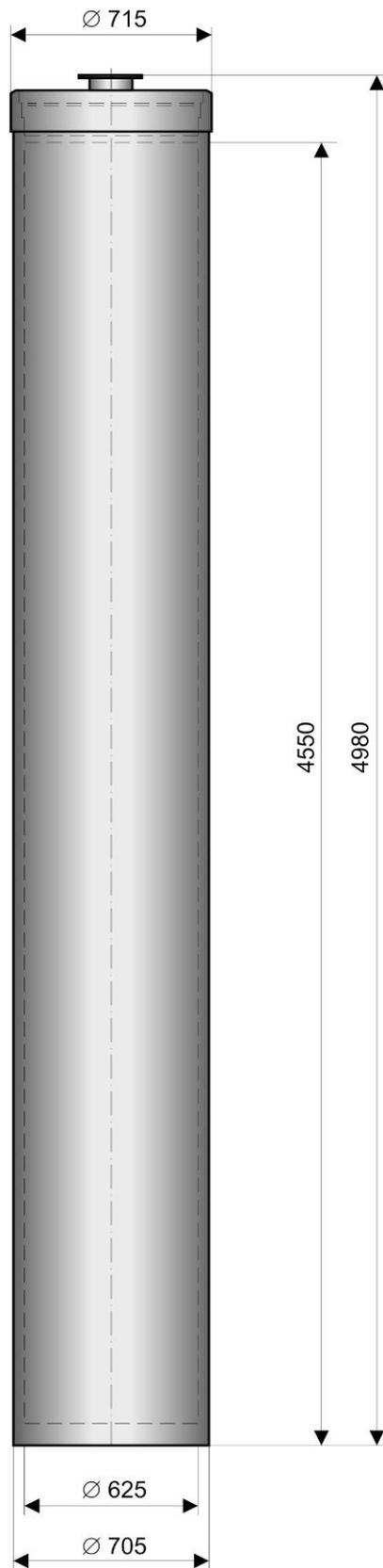
Für die AVR- und THTR-BE wird eine Verpackung der AVR-Kannen und THTR-Kannen in modifizierten BSK mit 40 mm Wandstärke (s. Abb. 2.13) betrachtet /TEC 11a/. Durch die Fixierung der BE-Kannen in den BSK mittels Abstandshaltern ist eine Beladung mit 4 AVR-Kannen oder eine Beladung mit 2 THTR-Kannen möglich.



**Abb. 2.11** Brennstabkokille (BSK) (Angaben in mm)



**Abb. 2.12** Triple-Pack (Angaben in mm)



**Abb. 2.13** Modifizierte BSK (Angaben in mm)

## **2.4 Endlagerbehälter für die Einlagerungsvariante A (vernachlässigbar wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle)**

Ergänzend zu den Betrachtungen der Endlagerung von wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen wird die Endlagerung von radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung in Einlagerungskammern (Variante A) als Option betrachtet.

Im Abfallmengengerüst, das im Arbeitspaket 3 erarbeitet wurde, sind Angaben zu Volumina von vernachlässigbar wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen enthalten. Konkrete Angaben zur Verpackung dieser Abfälle liegen nicht vor. Aus heutiger Sicht wäre es sinnvoll, die Endlagerung dieser Abfälle im Endlager Konrad zu realisieren. Da derzeit nicht abschließend beurteilt werden kann, ob Abfälle dieser Art die Annahmbedingungen für das Endlager Konrad erfüllen, werden sie als Option (Variante A) in der Endlagerkonzeptplanung für die Vorläufige Sicherheitsanalyse Gorleben berücksichtigt /NSE 10/.

Aufgrund der Art der hier zu berücksichtigenden Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung wurden Behälter gewählt, die auch für die Verpackung der Abfälle für das Endlager Konrad zu verwenden sind (Behältergrundtypen). Die Hauptfunktion dieser Endlagerbehälter besteht ebenfalls darin, die in ihnen verpackten radioaktiven Stoffe während der Transport- und Handhabungsprozesse sicher und dicht zu umschließen. In weiteren Planungsphasen, die über den Rahmen der VSG hinausgehen, ist die hier getroffene Annahme, dass die gewählten Behältertypen die Anforderungen erfüllen, zu überprüfen.

Im Folgenden werden die Behältergrundtypen nach /BRE 95/ und weitere mögliche Verpackungen (Container Typ VII) für die vernachlässigbar wärmeentwickelnden radioaktiven Abfälle beschrieben. Dies stellt aus heutiger Sicht eine abdeckende Übersicht der möglicherweise zum Einsatz kommenden Abfallbindetypen dar. In Tab. 2.4 sind die wichtigsten Daten zu diesen Abfallbinden zusammengestellt.

Im Hinblick auf die stoffliche Beschaffenheit der vernachlässigbar wärmeentwickelnden radioaktiven Abfälle und einer Minimierung der Behälteranzahl wird von einer Verpackung der vernachlässigbar wärmeentwickelnden radioaktiven Abfälle in Container Typ IV und Typ VI ausgegangen; die Werte dieser Abfallbinde sind in der Tabelle grau hinterlegt. Wenn Informationen zu neuen, für das Endlager Gorleben noch zu definie-

renden endlagergerechten Verpackungen vorliegen, sind diese entsprechend zu ergänzen und in den folgenden Betrachtungen zu berücksichtigen.

**Tab. 2.4** Abmessungen der Abfallgebinde für die Variante A

Abfallgebinde	Länge/Durchmesser [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Gebindenvolumen [m <sup>3</sup> ]
Betonbehälter Typ I	Ø 1.060	-	1.370 <sup>1)</sup>	1,2
Betonbehälter Typ II	Ø 1.060	-	1.510 <sup>2)</sup>	1,3
Gussbehälter Typ I	Ø 900	-	1.150	0,7
Gussbehälter Typ II	Ø 1.060	-	1.500 <sup>3)</sup>	1,3
Gussbehälter Typ III	Ø 1.000	-	1.240	1,0
Container Typ I	1.600	1.700	1.450	3,9
Container Typ II	1.600	1.700	1.700	4,6
Container Typ III	3.000	1.700	1.700	8,7
Container Typ IV	3.000	1.700	1.450 <sup>4)</sup>	7,4
Container Typ V	3.200	2.000	1.700	10,9
Container Typ VI	1.600	2.000	1.700	5,4
Container Typ VII	1.600	2.000	1.450	4,6

<sup>1)</sup> Höhe 1.370 mm + Lasche von 90 mm = 1.460 mm

<sup>2)</sup> Höhe 1.510 mm + Lasche von 90 mm = 1.600 mm

<sup>3)</sup> Höhe 1.370 mm beim Typ KfK

<sup>4)</sup> Stapelhöhe 1.400 mm beim Typ KfK

### 2.4.1 Betonbehälter (verlorene Betonabschirmungen)

Bei den Betonbehältern handelt es sich überwiegend um armierte, zylindrische Behälter aus Normal- oder Schwebeton, für deren Herstellung

- mindestens Beton der Festigkeitsklasse B 35 zu verwenden ist,
- der Zementgehalt je nach Kornzusammensetzung des Zuschlaggemisches mindestens 350 kg/m<sup>3</sup> verdichteten Betons betragen muss und
- der Beton die Bewehrung um mindestens 30 mm überdecken muss.

Die mit radioaktivem Abfall befüllten Betonbehälter sind einschließlich des Kopfbereiches mit Beton zu vergießen. Zum Verschließen können auch armierte Betondeckel verwendet werden, die mit dem Behälterkörper zu vergießen oder zu verschrauben sind. Zwischen Behälterkörper und Deckel befindet sich erforderlichenfalls eine Dichtung. Zum Anschlagen an eine Hebevorrichtung müssen bei den Betonbehältern standardisierte Anschlagmöglichkeiten vorhanden sein. Abb. 2.14 und Abb. 2.15 zeigen die schematische Darstellung der Betonbehälter Typ I und Typ II.

#### **2.4.2 Gussbehälter**

Bei Gussbehältern (MOSAİK-Behältern) handelt es sich um zylindrische dickwandige Behälter aus Gusswerkstoff (z. B. GGG 40). Es können Behälter mit eingesetzten oder aufliegenden Deckeln bzw. mit unterschiedlich angeordneten und ausgebildeten Öffnungen im Kopfbereich verwendet werden. Gussbehälter werden mit Deckeln verschlossen, die ebenfalls aus Gusswerkstoff hergestellt und mit dem Behälterkörper zu verschrauben und/oder zu verschweißen sind. In den Deckeln können zusätzliche Öffnungen vorhanden sein. Zwischen Behälterkörper und Deckel befindet sich eine Dichtung. Für die Handhabung müssen entsprechende Anschlagmöglichkeiten an den Gussbehältern vorhanden sein.

Bei Bedarf ist die Verwendung von zusätzlichen Innenauskleidungen in den Endlagerbehältern möglich. Innenauskleidungen können überwiegend aus Blei hergestellt werden. Die Verwendung anderer Materialien ist möglich. Derartige Auskleidungen müssen deklariert werden. Abb. 2.16 bis Abb. 2.18 zeigen die schematische Darstellung der Gussbehälter Typ I bis Typ III.

#### **2.4.3 Konrad Container**

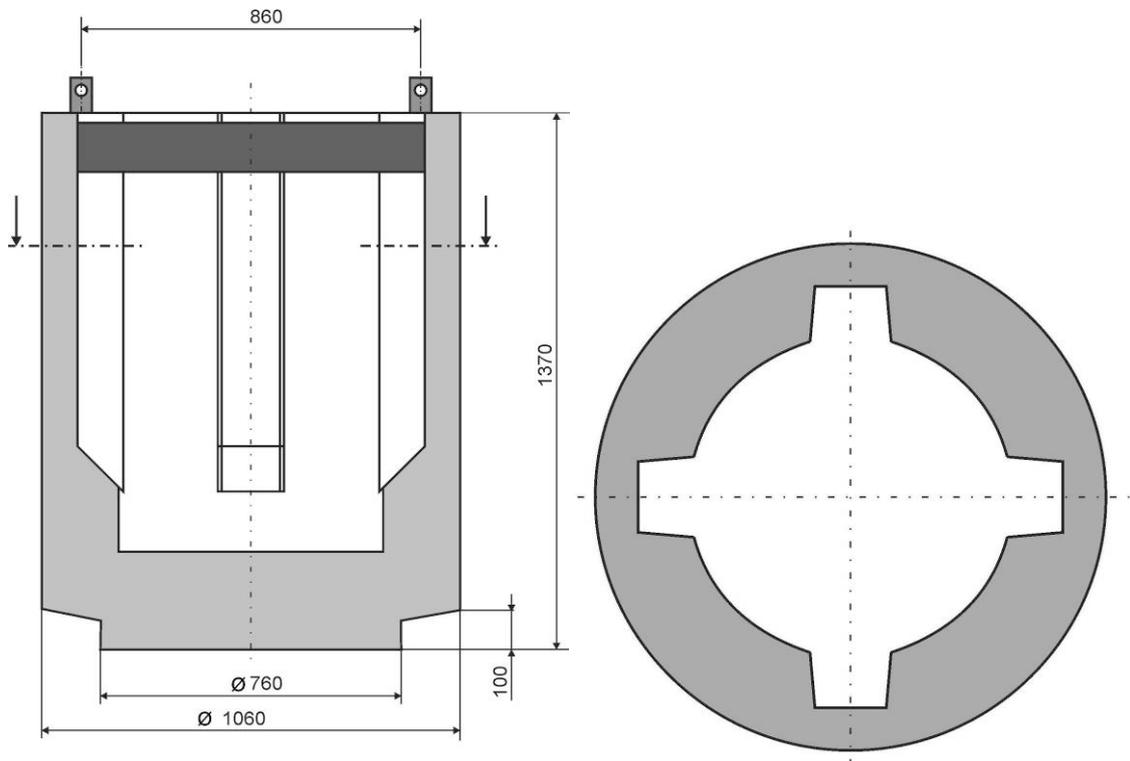
Bei Containern handelt es sich um quaderförmige großvolumige Behälter, die aus Stahlblech, armiertem Beton oder Gusswerkstoff hergestellt sind. Der Grundaufbau von Containern, die aus Stahlblech (z. B. St 37.2) hergestellt werden, besteht aus einer Rahmenkonstruktion mit Stahlprofilen. Die Seitenwände bestehen aus mindestens 3 mm dicken Stahlblechen und sind an ihren Ecken und Kanten miteinander verschweißt. Abb. 2.19 bis Abb. 2.25 zeigen die schematischen Darstellungen der Konrad Container Typ I bis Typ VII.

Für die Ausführung von Beton- und Gusscontainern gelten die bei den zylindrischen Beton- und Gussbehältern gemachten Aussagen in entsprechender Weise. Die Deckel der Container werden jeweils aus Stahlblech, armiertem Beton oder Gusswerkstoff hergestellt und sind z. B. mit dem Behälter zu verschrauben oder durch Zuganker zu arretieren. Zwischen Behälterkörper und Deckel befindet sich erforderlichenfalls eine Dichtung. Zur Handhabung mit Containertraversen (Spreadertechnik) müssen an allen acht Ecken der Container ISO-Eckbeschläge angebracht sein. Befüllte Container müssen über die ISO-Eckbeschläge mit einem Seitenrahmenspreader gehandhabt und gestapelt werden können. Weitere Ausführungen zu den ISO-Eckbeschlägen sind zu beachten.

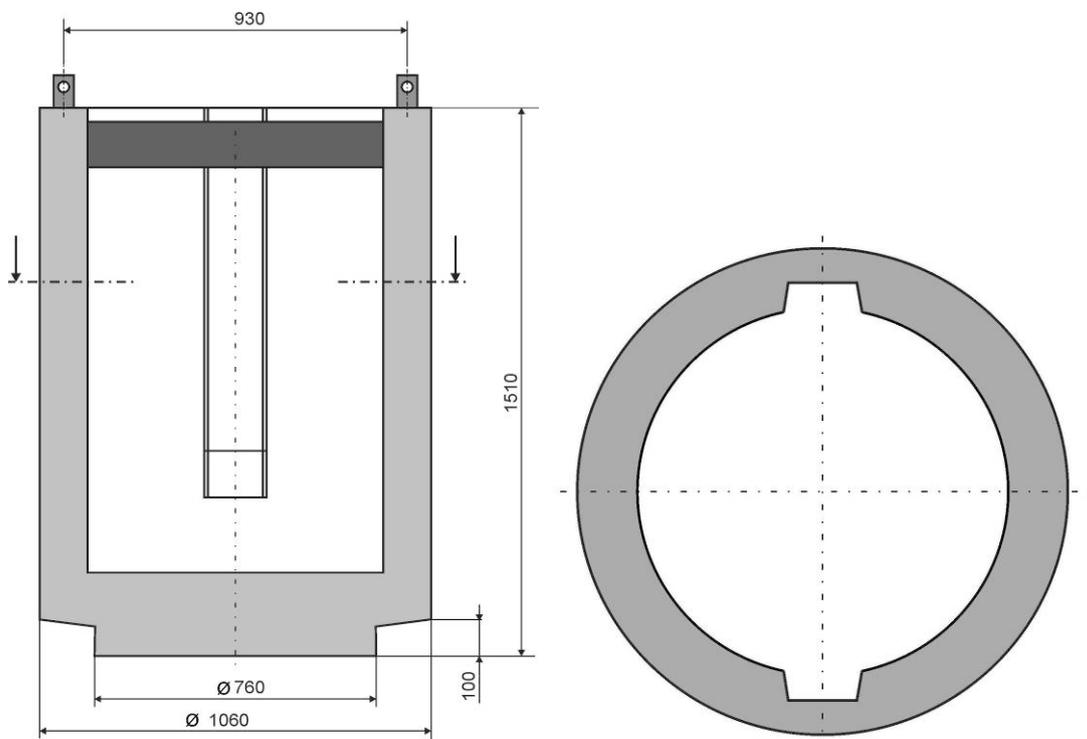
Bei Bedarf ist die Verwendung von zusätzlichen Innenauskleidungen in den Endlagerbehältern möglich. Innenauskleidungen können überwiegend aus Blei hergestellt werden. Die Verwendung anderer Materialien ist möglich. Derartige Auskleidungen müssen deklariert werden.

#### **2.4.4 Weitere Abfallgebilde**

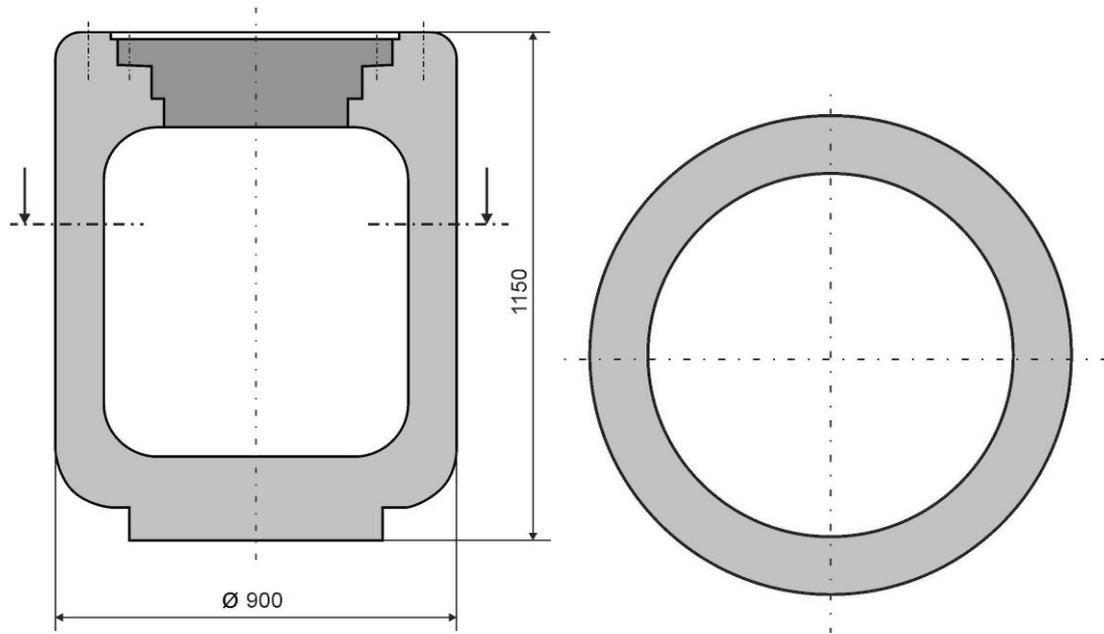
Abfallgebilde, die noch nicht endlagergerecht konditioniert sind, könnten durch Verpackung in neue, für das Endlager Geleben noch zu definierende endlagergerechte Behälter zusammengefasst werden /NSE 10/.



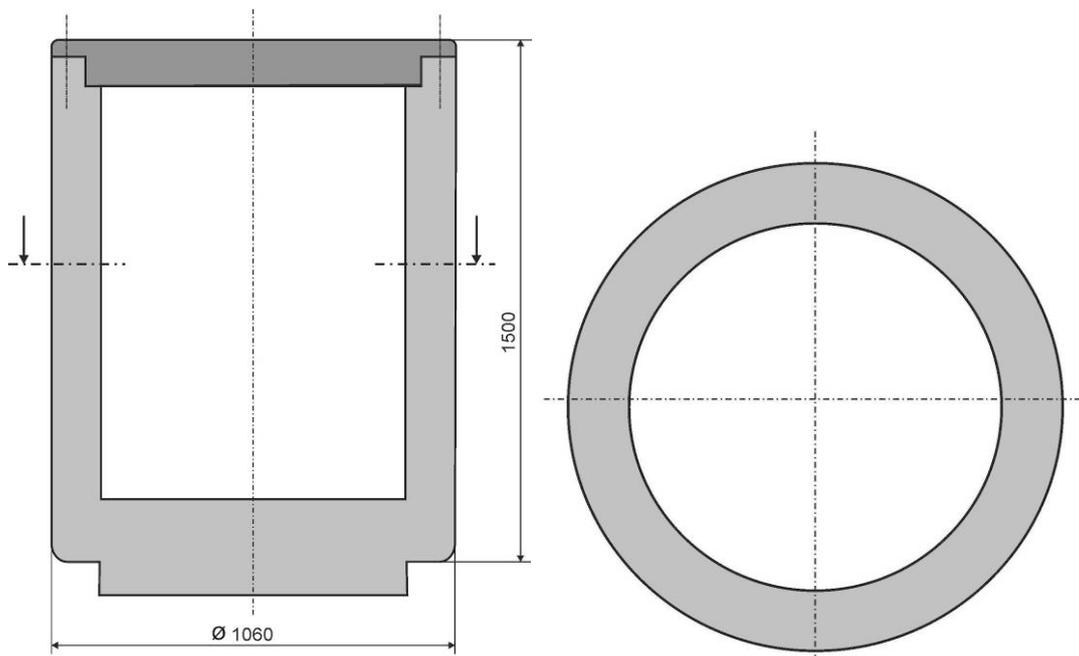
**Abb. 2.14** Betonbehälter Typ I



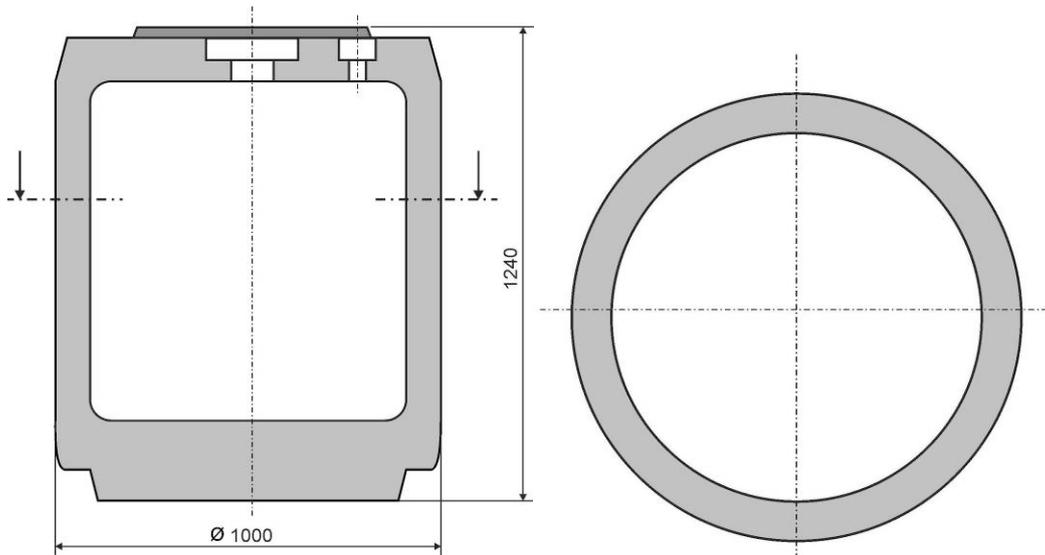
**Abb. 2.15** Betonbehälter Typ II



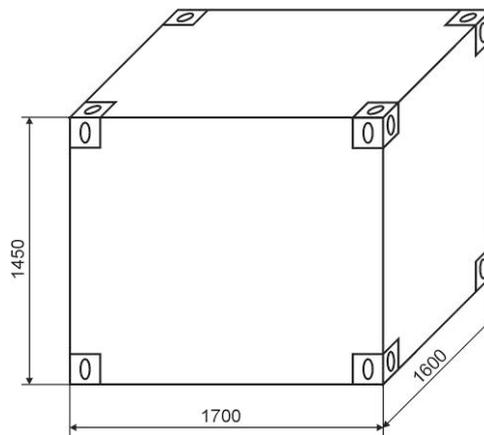
**Abb. 2.16** Gussbehälter Typ I



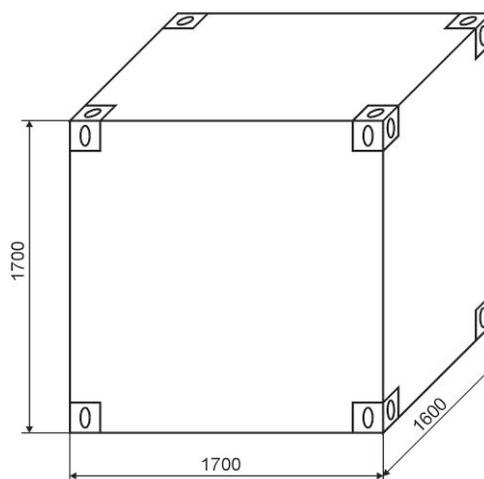
**Abb. 2.17** Gussbehälter Typ II



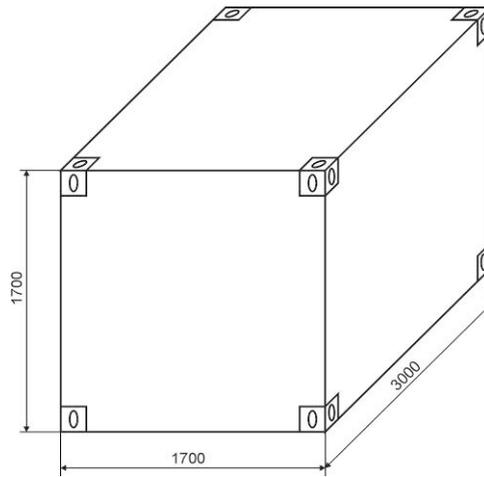
**Abb. 2.18** Gussbehälter Typ III



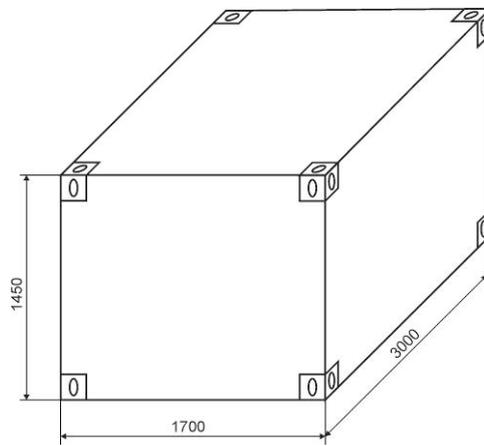
**Abb. 2.19** Konrad Container Typ I



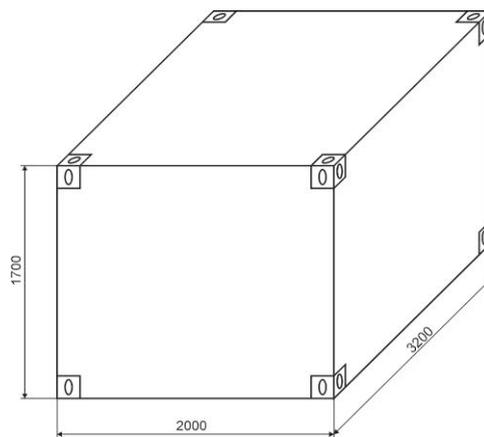
**Abb. 2.20** Konrad Container Typ II



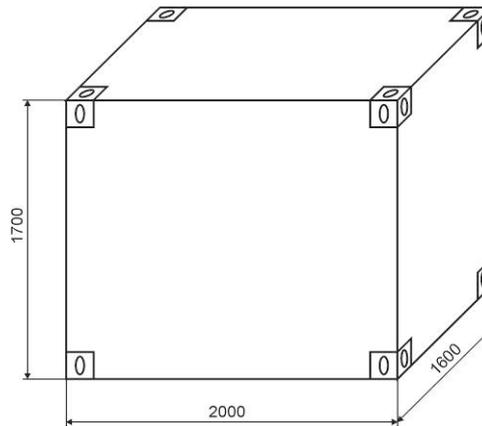
**Abb. 2.21** Konrad Container Typ III



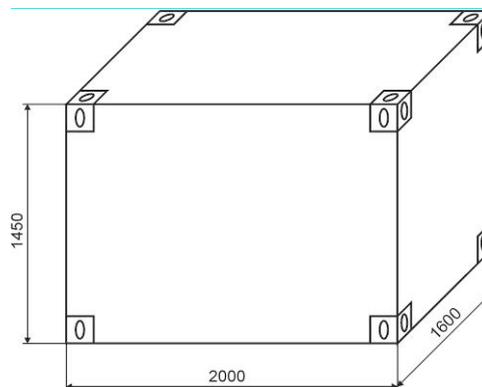
**Abb. 2.22** Konrad Container Typ IV



**Abb. 2.23** Konrad Container Typ V



**Abb. 2.24** Konrad Container Typ VI



**Abb. 2.25** Konrad Container Typ VII

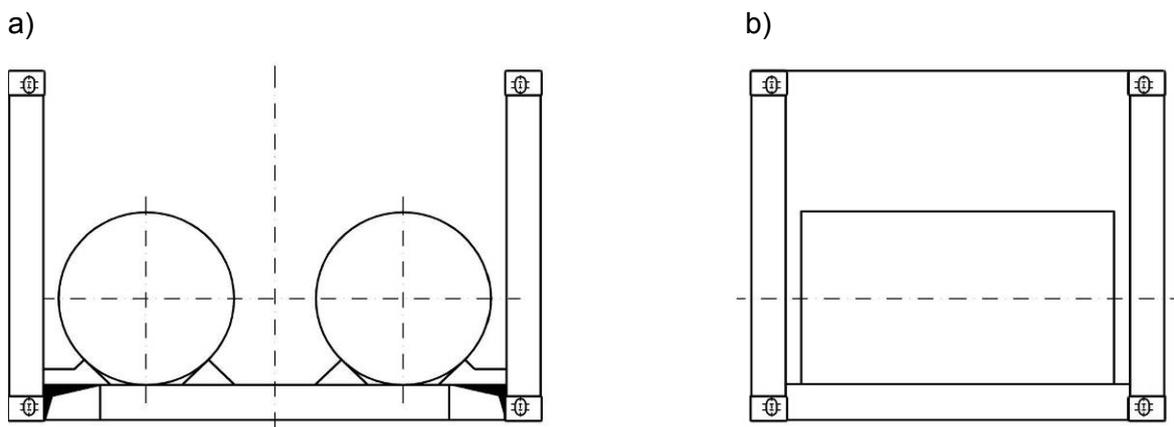
### 2.4.5 Tausch- und Transportpalette

Beim Endlager Konrad erfolgt die Anlieferung der Rundgebilde (Beton- und Gussbehälter, s. Kapitel 2.4.1 und Kapitel 2.4.2) ausschließlich liegend auf Tausch- und Transportpaletten (s. Abb. 2.26 und Abb. 2.27). Die Handhabung der Rundgebilde im Endlager Konrad erfolgt ebenfalls auf Tausch- und Transportpaletten. Aus diesem Grund wird bei der hier vorliegenden Konzeptplanung im Rahmen der Vorläufigen Sicherheitsanalyse GoReben bei der Anlieferung von Rundgebilden und ihrer Handhabung im Endlager auf Tausch- und Transportpaletten ausgegangen.

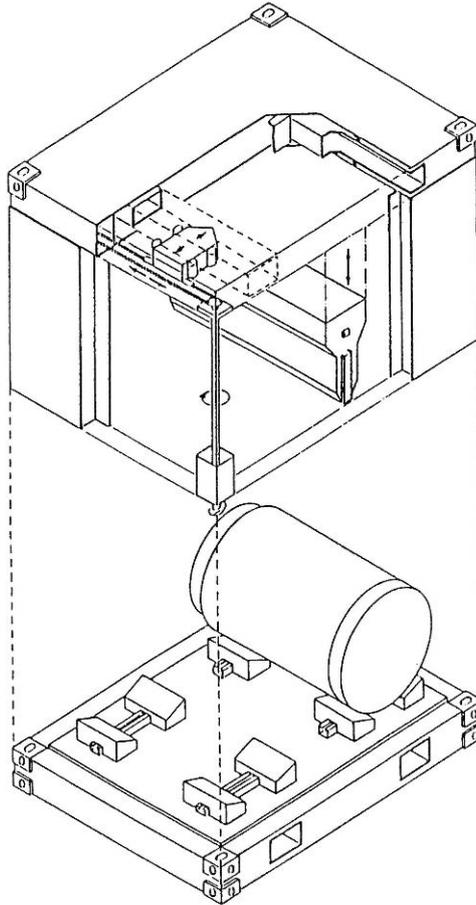
Die Tauschpalette wird für den Transport zylindrischer Endlagerbehälter von den Ablieferungspflichtigen bis zum Einlagerungsort in den Einlagerungskammern verwendet. Sie wird dort entladen und ist wieder verwendbar. Es werden – abhängig von der Masse – ein oder zwei typgleiche zylindrische Endlagerbehälter liegend auf einer Tauschpalette transportiert. Gleiches gilt für die Transportpalette mit integriertem Schutz.

Die Tauschpalette besteht aus einer Rahmenkonstruktion in geschweißter Ausführung. Alle Ecken sind mit ISO-Eckbeschlägen versehen. Dabei sind die oberen Ecken für die Handhabung mit der Spreadertechnik und die unteren für die Verriegelung auf dem Plateauwagen bestimmt. Zur Aufnahme und zum Transport mit dem Stapelfahrzeug sind im Palettenboden zusätzlich Gabeltaschen angebracht. Als Transportsicherung sind auf dem Palettenboden einstellbare Anschläge für die verschiedenen Endlagerbehälter-Durchmesser angeordnet. Gleiches gilt für die Transportpalette mit integriertem Schutz.

Der integrierte Schutz der Transportpalette besteht aus einer wärmedämmenden und stoßdämpfenden Haube. Haube und Boden umschließen die zu befördernden Endlagerbehälter allseitig. Während des Transports ist die Haube mit dem Palettenboden verriegelt. Die Transportpalette wird als Typ B-Transporteinheit im Sinne des Verkehrsrechts ausgelegt und schützt die Endlagerbehälter bei einem Brand im Endlager (1 h, 800 °C).



**Abb. 2.26** Prinzipdarstellung der Tauschpalette in a) Querschnitt und b) Längsschnitt



**Abb. 2.27** Prinzipdarstellung der Transportpalette mit Haube

## 2.5 Abfallmengengerüst – Anzahl der Endlagerbehälter je Einlagerungsvariante

Im folgenden Kapitel sind für die vorgegebenen im Kapitel 1.1 beschriebenen vier Einlagerungsvarianten (B1, B2, C und optional A) die im VSG-Arbeitspaket 3 ermittelten Abfallmengengerüste zusammengestellt und die Anzahl der Endlagerbehälter ermittelt worden /MSC 11/. Tab. 2.5 zeigt das Mengengerüst der endzulagernden Abfälle aus der Wiederaufarbeitung ausgedienter Brennelemente. Dazu zählen HAW-Kokillen (CSD-V) mit verglasten hochradioaktiven Spaltprodukten und Feedklärschlämmen, verglaste mittleradioaktive Deko- und Spülwässer (CSD-B) und kompaktierte mittleradioaktive Brennelementhülsen, Strukturteile und Technologieabfälle (CSD-C). Aufgrund der zeitlich parallelen Bearbeitung des Arbeitspaketes 3 durch GRS und des Arbeitspaketes 5 durch DBE TECHNOLOGY GmbH erfolgte ein regelmäßiger Datenaustausch, um innerhalb der VSG gleiche Daten für die betrachteten vier Varianten zu verwenden.

Ergänzt wurden die Mengenangaben um den angenommenen Rücklieferzeitraum von AREVA NC/La Hague in Frankreich und Sellafield Ltd./Sellafield in Großbritannien /GNS 10b/. Der Rücklieferzeitraum der CSD-V der Verglasungseinrichtung Karlsruhe (VEK) entspricht dem Zeitraum der Verglasung des dort lagernden hochradioaktiven Flüssigabfalls (HAWC).

**Tab. 2.5** Mengengerüst der hochradioaktiven und wärmeentwickelnden Wiederaufarbeitungsabfälle /MSC 11/

Abfallstrom: Wiederaufarbeitungsabfälle		Anzahl Kokillen
CSD-V (HAW-Kokillen)	AREVA NC (F)	3.025
	Sellafield Ltd. (UK)	570
	VEK (D)	140
	Summe	3.735
CSD-B	AREVA NC (F)	308
CSD-C	AREVA NC (F)	4.104

In Tab. 2.6 ist das Mengengerüst der endzulagernden ausgedienten Brennelemente aus deutschen Leistungsreaktoren (DWR, SWR und WWER-DWR) aufgeführt. Die Mengenangaben berücksichtigen die im Zusammenhang mit dem Energiekonzept der Bundesregierung vom 05.09.2010 vereinbarten Laufzeitverlängerung der Kernkraftwerke um durchschnittlich 12 Jahre /MSC 11/.

**Tab. 2.6** Mengengerüst der ausgedienten Brennelemente aus Leistungsreaktoren

Abfallstrom: Leistungsreaktoren		Anzahl BE	Schwermetallmasse tSM
DWR	UO <sub>2</sub>	18.500	9.575
	MOX	1.500	715
SWR	UO <sub>2</sub>	24.050	4.165
	MOX	1.450	240
WWER-DWR	UO <sub>2</sub>	5.050	580
Gesamt		-	15.275

Tab. 2.7 gibt einen Überblick über die ausgedienten Brennelemente/Brennstäbe aus Versuchs- und Prototyp-Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren, die in Deutschland zu entsorgen sein werden /MSC 11/. Hierbei handelt es sich um Brennelementkugeln der Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor (AVR), Jülich, und des Thorium-Hoch-

temperaturreaktors (THTR 300), Hamm-Uentrop, um Brennstäbe der Kompakten Natriumgekühlten Kernreaktoranlage (KNK II), Karlsruhe, und des Nuklearschiffs Otto-Hahn, und um Brennelemente der Forschungsreaktoren München II (FRM II) und Berlin (BER II).

**Tab. 2.7** Mengengerüst der ausgedienten Brennelemente/Brennstäbe aus Versuchs- und Prototyp-Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren

<b>Abfallstrom: Versuchs- und Prototyp-Kernkraftwerk/ Forschungsreaktor</b>	<b>Anzahl BE bzw. BS</b>
AVR	288.161 BE-Kugeln
THTR	611.878 BE-Kugeln
KNK II	2.413 Brennstäbe in 27 BE
Otto-Hahn	52 Brennstäbe
FRM II	ca. 120 – 150 MTR-BE
BER II	ca. 120 MTR-BE

Auf Basis der in Tab. 2.5 bis Tab. 2.7 dargestellten Mengengerüste der drei Abfallströme wurde die Anzahl der entsprechenden Abfallgebinde für die jeweilige Einlagerungsvariante wie in Tab. 2.8 bis Tab. 2.10 dargestellt abgeschätzt.

**Tab. 2.8** Anzahl der Endlagerbehälter für die Einlagerungsvariante B1 – Streckenlagerung

Abfallart		Endlagerbehälter	
		Bezeichnung	Anzahl
Ausgediente Brennelemente aus Leistungsreaktoren	DWR	POLLUX®-10	2.000
	SWR		850
	WWER-DWR		202
	Summe		3.052
CSD-V	AREVA NC (F)	POLLUX®-9	415
	Sellafield Ltd. (UK)		
	VEK (D)		
CSD-B	AREVA NC (F)	POLLUX®-9	35
CSD-C	AREVA NC (F)	POLLUX®-9	456
Ausgediente Brennelemente aus Versuchs- und Prototyp-KKW's und Forschungsreaktoren	AVR	CASTOR® THTR/AVR	152
	THTR		305
	KNK II	CASTOR® KNK	4
	Otto-Hahn		
	FRM II	CASTOR® MTR 2	30
	BER II		20
	Summe	-	511

**Tab. 2.9** Anzahl der Endlagerbehälter für die Einlagerungsvariante B2 – Differenzbe-  
trachtung zur Streckenlagerung

Abfallart		Endlagerbehälter	
		Bezeichnung	Anzahl
Ausgediente Brennelemente  aus Leistungsreaktoren	DWR	CASTOR® V/19	1.053
	SWR	CASTOR® V/52	491
	WWER-DWR	CASTOR® 440/84	61
	Summe	-	1.605
CSD-V	AREVA NC (F)	CASTOR® HAW 20/28 CG CASTOR® HAW28M TN85 TS28V	134
	Sellafield Ltd. (UK)	CASTOR® HAW28M	
	VEK (D)	CASTOR® HAW 20/28 CG	
CSD-B	AREVA NC (F)	CASTOR® HAW28M	11
CSD-C	AREVA NC (F)	TGC36	114
Ausgediente Brennelemente  aus Versuchs- und Prototyp-KKW's und Forschungsreaktoren	AVR	CASTOR® THTR/AVR	152
	THTR		305
	KNK II	CASTOR® KNK	4
	Otto-Hahn		
	FRM II	CASTOR® MTR 2	30
	BER II		20
	Summe		-

**Tab. 2.10** Anzahl der Endlagerbehälter für die Einlagerungsvariante C – Bohrloch-lagerung

Abfallart		Endlagerbehälter	
		Bezeichnung	Anzahl
Ausgediente Brennelemente aus Leistungsreaktoren	DWR	BSK	6.667
	SWR		2.834
	WWER-DWR		674
	Summe		10.175
CSD-V	AREVA NC (F)	Triple-Pack	1.245
	Sellafield Ltd. (UK)		
	VEK (D)		
CSD-B	AREVA NC (F)	Triple-Pack	103
CSD-C	AREVA NC (F)	Triple-Pack	1.368
Ausgediente Brennelemente aus Versuchs- und Prototyp-KKWs und Forschungsreaktoren	AVR	BSK THTR/AVR <sub>BE</sub> -Kannen	76
	THTR		153
	KNK II	BSK KNK	5
	Otto-Hahn		
	FRM II	BSK MTR	30
	BER II		26
	Summe	-	290

Für die optional zu betrachtende Variante A sind in Tab. 2.11 die zum Mengengerüst der endzulagernden radioaktiven Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung vorliegenden Angaben zusammengestellt /NSE 10/.

**Tab. 2.11** Mengengerüst der vernachlässigbar wärmeentwickelnden radioaktiven Abfälle

Abfallart	Abfallmengen
Uranoxid (U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	35.000 m <sup>3</sup> Nettoabfallvolumen 3,2 g/cm <sup>3</sup> Trockendichte des U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> als vorverdichtetes Pulver
nicht näher spezifizierte vernachlässigbar wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle	20.000 m <sup>3</sup> Bruttobfallvolumen
Graphit und graphithaltige Abfälle	1.000 m <sup>3</sup> Nettoabfallvolumen

Zum Zeitpunkt der Berichtserstellung lagen keine konkreten Angaben zur endlagergerechten Verpackung dieser Abfälle vor. Deshalb wurde vereinfachend für die weiteren Betrachtungen eine Verpackung des Uranoxids in Konrad Container Typ VI angenommen, da es sich dabei um den Containertypen mit dem größten Volumen und der maximalen Abfallgebundemasse unter Berücksichtigung einer maximal zulässigen Gebundemasse von 20 Mg handelt. Bei der Verpackung der nicht näher spezifizierten vernachlässigbar wärmeentwickelnden radioaktiven Abfälle wurde angenommen, dass sich die Abfälle in 200l-Fässern befinden und diese aufgrund erhöhter Dosisleistung in Betoncontainer Typ IV verpackt werden. Eine Verpackung in Betoncontainer Typ IV wurde auch bei Graphit und den graphithaltigen Abfällen angenommen, um eine Verpackung dieser Abfälle in Metallbehälter zu vermeiden.

Die auf dieser Basis abgeschätzte Anzahl an Endlagerbehältern mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung ist in Tab. 2.12 dargestellt.

**Tab. 2.12** Anzahl der Endlagerbehälter für die Einlagerungsvariante A – nicht näher spezifizierte vernachlässigbar wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle

Abfallart	Endlagerbehälter	
	Bezeichnung	Anzahl
Uranoxid (U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	Container Typ VI	7.202
nicht näher spezifizierte vernachlässigbar wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle	Container Typ IV	12.500
Graphit und graphithaltige Abfälle	Container Typ IV	313

### 3 Konzeption der Tagesanlagen

Im Folgenden wird die Konzeption der Tagesanlagen des Endlagers beschrieben. Die dargestellte Konzeption der Tagesanlagen orientiert sich stark an den Überlegungen, die einer Endlagerkonzeption von 1998 /DBE 98/ zu Grunde lagen. Obwohl nicht alle beschriebenen Komponenten für ein initiales Arbeitsmodell benötigt werden, liefern die Darstellungen insgesamt eine nachvollziehbare Grundlage für weitere Planungsphasen. Die Konsequenzen einer Forderung nach Rückholung der Abfälle für die Tagesanlagen wurde dabei nicht berücksichtigt. Dies erfolgt in der weiteren Planungsphase im Arbeitspaket 6 „Endlagerauslegung und Optimierung“. Dort werden in einer Differenzbetrachtung die erforderlichen Änderungen an der Konzeption der Tagesanlagen erarbeitet und dargestellt.

Die Tagesanlagen umfassen alle Einrichtungen über Tage, die für den Betrieb des untertägigen Endlagers erforderlich sind. Unter Berücksichtigung der gesetzlichen Vorschriften und Normen und den „Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle“ /BMU 10/ werden die Auslegungsanforderungen für die einzelnen Gebäude und Anlagenteile der Tagesanlagen des Endlagers formuliert. So sind die Schutzziele, besonders im Sinne des Atomgesetzes (AtG) /ATG 10/, der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) /STV 08/ und analoger Verordnungen sowie das Bundesberggesetz (BBergG) /BBG 09/ mit den einschlägigen Verordnungen für die Auslegung aller Gebäude und Anlagenteile, die unmittelbar für den Transport, die Handhabung oder die Lagerung der radioaktiven Abfälle benötigt werden, zu beachten. Ebenfalls diesem Bereich zuzuordnen sind die Einrichtungen zum Schutz der Anlage vor Störmaßnahmen und die Bewetterungs- und Brandschutzeinrichtungen. Die übrigen Einrichtungen werden wie die eines konventionellen Bergwerkes ausgelegt.

Die wesentlichsten Funktionen der Tagesanlagen sind die Annahme, Entladung und Pufferung von Endlagerbehältern sowie der Transport der Endlagerbehälter zum Schacht. Entsprechend den durchzuführenden Arbeiten sind die Tagesanlagen in Funktionsbereiche aufgegliedert. Die wichtigsten Einrichtungen sind die Umschlagsanlage für Endlagerbehälter, die Schachtförderanlage und die Schachthalle. Des Weiteren gehören zu den Tagesanlagen die erforderlichen Technik-, Sozial-, Labor- und Büroeinrichtungen, die LKW- und Waggontrochnungsanlagen sowie die Verkehrsanlagen. Abb. 3.1 stellt einen Lageplan der Tagesanlagen dar.

Das Betriebsgelände des Endlagerbergwerkes wird an das öffentliche Straßennetz angeschlossen. Über eine Anschlussstraße kann das Gelände durch drei Zugänge betreten werden. Auslegungsbestimmend für Fahrbahnbefestigung, Kurvenradien und Breite der Straße sind einerseits eine mobile Friktionswinde, die zum Auflegen der Förderseile an den Schächten benötigt wird und andererseits die LKW für die Anlieferung der Endlagerbehälter. Die Straße zwischen Betriebsgelände und Salzhalde ist für den Transport des gefördert Salz mit Fahrzeugen ausgelegt.

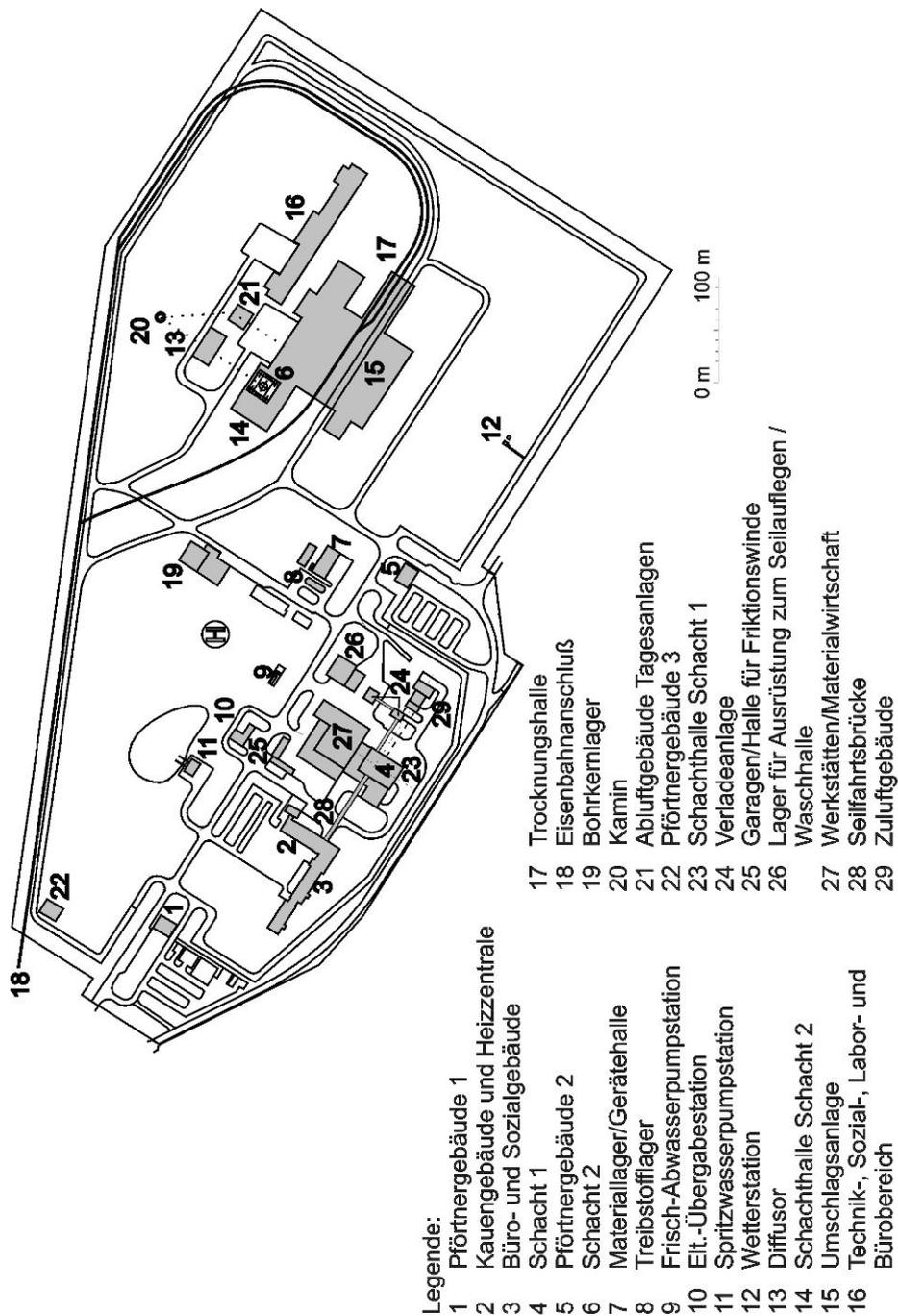


Abb. 3.1 Tagesanlagen Endlager Gorleben

Neben der Anbindung über die Straße ist das Betriebsgelände über eine Anschlussbahn an das Streckennetz der Deutschen Bahn AG angeschlossen. Diese Anschlussbahn kann für eine direkte Anlieferung von Endlagerbehältern aus der übertägigen Konditionierungsanlage genutzt werden. Der Transport erfolgt mit einem betriebseigenen Rangierfahrzeug, das die Rangiervorgänge auf der Anlage durchführen wird.

### **3.1 Abfallströme und Einlagerungsvarianten**

Im Folgenden wird ein zusammenfassender Überblick über die in den Tagesanlagen zu handhabenden Abfallströme nach Einlagerungsvarianten gegeben. Bei der Beschreibung der Umschlagsanlage (s. Kapitel 3.2), der Schachthalle (s. Kapitel 3.3), der Schachtförderanlage (s. Kapitel 3.4) und der Hauptgrubenlüfteranlage (s. Kapitel 3.5) wird die Endlagerung der wärmeentwickelnden radioaktiven Abfälle in horizontalen Strecken (Varianten B1) und in vertikalen Bohrlöchern (Variante C) sowie optional die Endlagerung der vernachlässigbar wärmeentwickelnden radioaktiven Abfälle in Kammern (Variante A) berücksichtigt. In Kapitel 8 ist die Endlagerung der wärmeentwickelnden radioaktiven Abfälle in Transport- und Lagerbehältern (Variante B2) als Differenzbetrachtung zur Streckenlagerung beschrieben.

Tab. 3.1 gibt einen zusammenfassenden Überblick über die Abfallströme und Endlagerbehälter/Transporteinheiten für die verschiedenen Einlagerungsvarianten.

**Tab. 3.1** Abfallströme und Endlagerbehälter/Transporteinheiten für die verschiedenen Einlagerungsvarianten

radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung	wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle		
Kammerlagerung Variante A	Streckenlagerung Variante B1	Differenzbetrachtung Variante B2	Bohrlochlagerung Variante C
Zylindrische Beton-/Gussbehälter	POLLUX®-10 mit BS ausgedienter BE aus DWR, SWR, WWER	CASTOR® (TLB) mit ausgedienten BE aus DWR, SWR, WWER	Brennstabkokillen <sup>3)</sup> mit BS ausgedienter BE aus DWR, SWR, WWER
m < 20 Mg <sup>1)</sup>	m < 65 Mg	m < 130 Mg	m < 5,3 Mg <sup>2)</sup>
Stahl-/Beton-/Gusscontainer	POLLUX®-9 mit CSD-V, CSD-B, CSD-C	CASTOR® (TLB) mit CSD-V, CSD-B, CSD-C	Triple-Packs <sup>3)</sup> mit CSD-V, CSD-B, CSD-C
	m < 65 Mg <sup>2)</sup>	m < 130 Mg	m < 5,3 Mg <sup>2)</sup>
	CASTOR® (TLB) mit BE aus Versuchs- und Prototyp-Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren		modifizierte Brennstabkokillen <sup>3)</sup> mit BE aus Versuchs- und Prototyp-KKW's und FR
m < 20 Mg <sup>1)</sup>	m < 30 Mg		m < 5,3 Mg <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Massenbeschränkungen analog Endlagerungsbedingungen Konrad /BRE 95/; demnach müssen zylindrische Endlagerbehälter liegend auf Tausch-/Transportpaletten am Endlager angeliefert werden. Die Massenangabe < 20 Mg bezieht sich auf die mit zylindrischen Endlagerbehältern beladenen Tausch-/Transportpaletten und auf die Container.

<sup>2)</sup> Massenangabe abgeschätzt

<sup>3)</sup> Der Transport nach unter Tage zur Einlagerung erfolgt mit wiederverwendbaren Transferbehältern.

### 3.2 Umschlagsanlage

Die übertägige Umschlagsanlage erfüllt die wesentlichen Funktionen Annahme, Entladen und Kontrolle der Endlagerbehälter, Pufferung falls erforderlich, sowie innerbetrieblicher Transport und Vorbereitung von Endlagerbehältern für den Transport in den Schacht und für die Einlagerung. Weiterhin ist die Durchführung eventuell notwendiger Sonderbehandlungen von Endlagerbehältern, wie z. B. Oberflächendekontamination, vorzusehen. In der Umschlagsanlage werden auch die erforderlichen Safeguardkontrollen durchgeführt.

### 3.2.1 Prinzipbeschreibung der Handhabungsabläufe

Die Anlieferung der Endlagerbehälter/Transporteinheiten (im Folgenden nur als Endlagerbehälter bezeichnet) erfolgt per Bahn bzw. per LKW. Auf dem Endlagergelände außerhalb der Umschlagsanlage werden die Anlieferfahrzeuge mit den Endlagerbehältern erforderlichenfalls in den Trocknungsanlagen für LKW bzw. für Bahnwaggons von der anhaftenden Feuchtigkeit oder dem Schnee befreit und es erfolgen orientierende Ortsdosisleistungsmessungen. Anschließend werden in der Entladehalle der Umschlagsanlage Eingangskontrollen (Sichtkontrollen, Strahlenschutzmessungen (Oberflächenkontamination, Ortsdosisleistung und Safeguardkontrollen)) durchgeführt. Im Folgenden sind die Handhabungsabläufe für die Endlagerbehälter der einzelnen Einlagerungsvarianten während des Normalbetriebes beschrieben:

Endlagerbehälter der Variante A (Endlagerbehälter mit radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung) werden von den Ablieferungspflichtigen direkt an das Endlager abgeliefert. Direkt nach der Annahme in der Umschlagsanlage werden die Endlagerbehälter auf innerbetriebliche Transportmittel (Plateauwagen) umgesetzt und damit bis zur vorgesehenen Einlagerungskammer nach unten transportiert. Die Endlagerbehälter werden von einem gleislosen Stapelfahrzeug in der Einlagerungskammer abgelegt.

Endlagerbehälter der Variante B1 (Streckenlagerung) und C (Bohrlochlagerung) mit wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen werden im Wesentlichen von der übermäßigen Konditionierungsanlage aus angeliefert. Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung (Variante A) werden im Wesentlichen aus Zwischenlagern und auch aus der übermäßigen Konditionierungsanlage angeliefert. Die ausgedienten Brennelemente aus DWR, SWR und WWER und die Wiederaufarbeitungsabfälle werden dort aus den Transport- und Lagerbehältern ausgepackt und in die endzulagernden Behälter umgepackt. Bei der Variante B1 werden die Brennstäbe in POLLUX<sup>®</sup>-10 und die CSD-V, CSD-B und CSD-C in POLLUX<sup>®</sup>-9 umgepackt. Bei der Einlagerungsvariante C werden die Brennstäbe in Brennstabkokillen und die CSD-V, CSD-B und CSD-C in Triple-Packs umgepackt und anschließend in selbst abschirmende Transferbehälter umgeladen. Die Variante C berücksichtigt die Endlagerung ausgedienter Brennelemente aus Versuchs- und Prototyp-Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren in modifizierten Brennstabkokillen; hinsichtlich Umpacken und Einlagerung gilt prinzipiell gleiches wie bei den vorgenannten Brennstabkokillen und Triple-Packs.

Die POLLUX<sup>®</sup>-Behälter (Variante B1) werden in der Umschlagsanlage auf innerbetriebliche Transportmittel (Plateauwagen) umgesetzt und damit bis zur vorgesehenen Einlagerungsstrecke nach unter Tage transportiert und dort mit Hilfe einer Einlagerungsvorrichtung abgelegt. Die Variante B1 berücksichtigt auch die Endlagerung ausgedienter Brennelemente aus Versuchs- und Prototyp-Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren in Transport- und Lagerbehältern (CASTOR<sup>®</sup> THTR/AVR, CASTOR<sup>®</sup> KNK, CASTOR<sup>®</sup> MTR 2). Diese Endlagerbehälter werden direkt von den Ablieferungspflichtigen an das Endlager abgeliefert; dabei wird vorausgesetzt, dass die dann existierenden Annahmebedingungen des Endlagers eingehalten werden. Die Handhabungsabläufe im Endlager entsprechen denen des POLLUX<sup>®</sup>-Behälters.

Die mit diesen Endlagerbehältern (Brennstabkokillen und Triple-Packs (Variante C)) beladenen selbstabschirmenden Transferbehälter werden in der Umschlagsanlage auf Plateauwagen umgesetzt und nach unter Tage zu den Einlagerungsbohrlöchern transportiert. Unter Tage erfolgt die Einlagerung der Endlagerbehälter mit Hilfe einer Einlagerungsvorrichtung. Die entladenen Transferbehälter werden wieder auf Plateauwagen gesetzt und zur erneuten Beladung nach über Tage transportiert.

Bei Betriebsstörungen werden die angelieferten Transport- und Lagerbehälter, die Endlagerbehälter und/oder die Transferbehälter zur übertägigen Pufferhalle transportiert und dort zwischengelagert. Sind durch die Eingangskontrollen Defekte an den Endlagerbehältern festgestellt worden, können kleine Reparaturen oder Oberflächendekontaminationen dort durchgeführt werden oder es kann das Anbringen von Overpack-Verpackungen erfolgen.

Bei länger dauernden Betriebsstörungen werden keine Endlagerbehälter mehr von den Ablieferungspflichtigen und der übertägigen Konditionierungsanlage abgerufen, so dass nur solche Endlagerbehälter gepuffert werden müssen, die bereits am Endlager angeliefert, aber noch nicht nach unter Tage gebracht werden konnten sowie die in der Anlieferung befindlichen Endlagerbehälter.

### **3.2.2 Auswahl der innerbetrieblichen Transportmittel**

Bei Transport- und Hebevorgängen von großen Lasten über hohe Verkehrsflächen bieten Brückenkräne deutliche Vorteile gegenüber flurgebundenen Fahrzeugen (z. B. Gabelstaplern) hinsichtlich der Handhabung und der Flurfreiheit. Für die Umschlagsan-

lage wurde der Einsatz von Brückenkränen für die Handhabung der Endlagerbehälter ausgewählt. Die Nutzlast und Anzahl der Krananlagen wurden entsprechend den Massen und Abmessungen der Endlagerbehälter, der Abfallströme, den Transportwegen und gemäß der Anordnung der einzelnen Funktionsbereiche der Umschlagsanlage bestimmt.

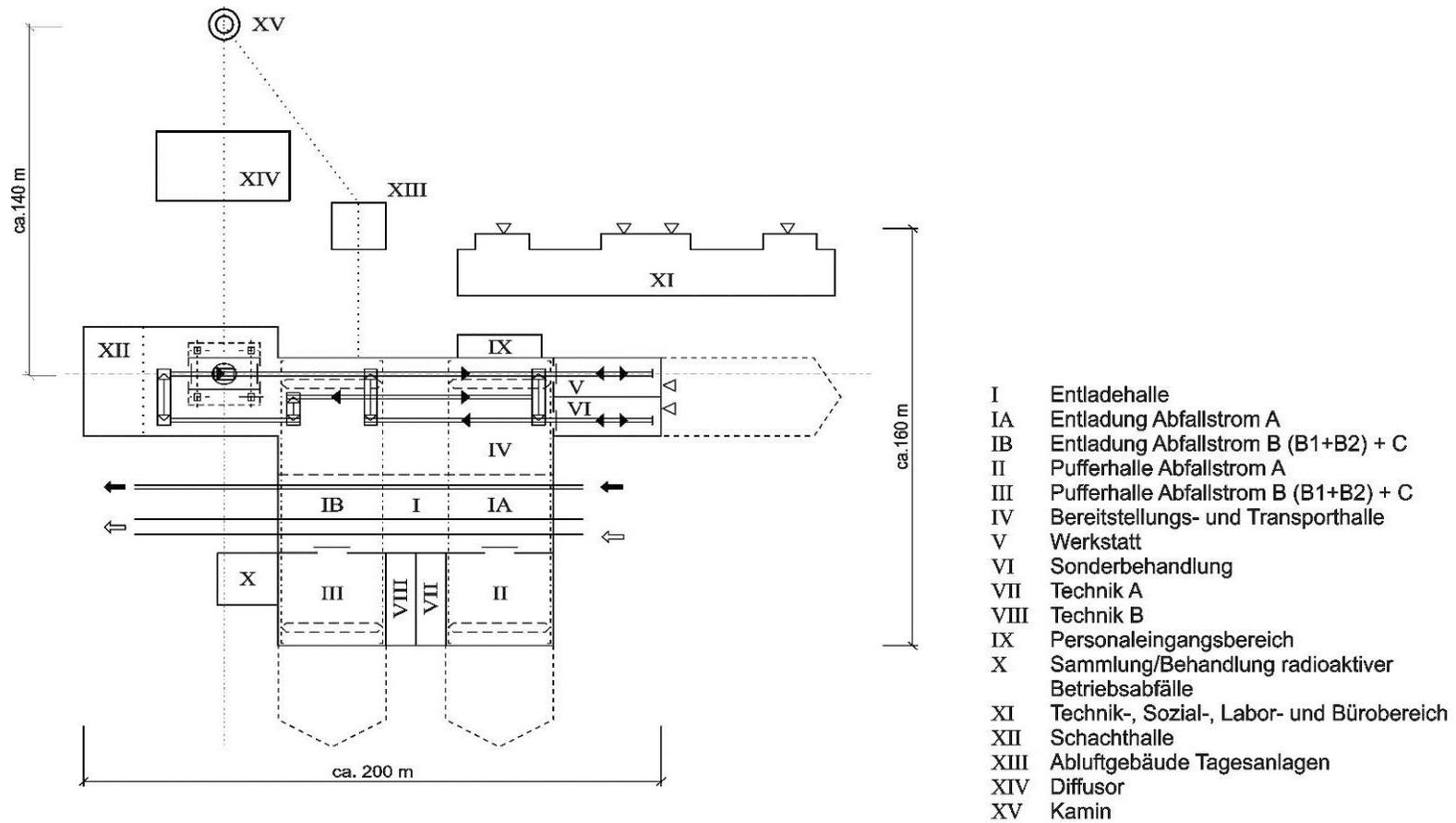
Bei der Auswahl der Transportmittel für die Umschlagsanlage ist das gesamte Transportsystem bis zur Einlagerung vor Ort zu berücksichtigen, um eine Vereinfachung und Vereinheitlichung der Transportmittel zu erreichen. Als innerbetriebliches Transportsystem ist der gleisgebundene Flurtransport für den Transport schwerer Lasten besonders geeignet und hat sich im untertägigen Bergbau bewährt. Zur Vereinheitlichung wurde der gleisgebundene Flurtransport mit Einsatz von Plateauwagen (s. Abb. 5.1) für alle Arten von Endlagerbehältern gewählt. Bedingt durch die sichere Spurführung ist – falls erforderlich – auch eine einfache Fernsteuerung möglich.

In der Umschlagsanlage erfolgt der Transport zwischen den Funktionsbereichen mit Brückenkränen und Plateauwagen. Von der Entladehalle zur Bereitstellungs- und Transporthalle sowie zu den Pufferhallen werden die Endlagerbehälter mittels Kran transportiert. In der Bereitstellungs- und Transporthalle werden die Endlagerbehälter auf Plateauwagen umgeladen und gleisgebunden in die Schachthalle transportiert.

### **3.2.3 Planung der Umschlagsanlage**

Für die Tagesanlagen wurde eine modulartige Auslegung ausgewählt. Das bedeutet, dass bestimmte Funktionsabläufe und Funktionsbereiche räumlich getrennt werden. Abb. 3.2 stellt eine Übersicht der Funktionsbereiche der Umschlagsanlage dar. Die Modulbauweise wird dadurch begründet, dass bei weiteren Planungen mit veränderten Randbedingungen nur einzelne Module angepasst oder ausgetauscht werden müssen.

Die funktionelle und räumliche Trennung in der Umschlagsanlage wird so konzipiert, dass die entsprechenden funktionellen und sicherheitstechnischen Anforderungen berücksichtigt werden. Dabei ist in der Auslegung der Umschlagsanlage die Möglichkeit eines parallelen Umschlags von verschiedenen Endlagerbehälterarten zu berücksichtigen. Für die Endlagerbehälter mit wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen sind gemeinsame Funktionsbereiche für die Entladung, Übergabe und Pufferung vorgesehen.



**Abb. 3.2** Umschlagsanlage

Für die Konzeption der Umschlagsanlage werden für eine erste Abschätzung von Abläufen und Raumbedarf folgende Annahmen und Festlegungen getroffen, wobei diese Annahmen im Zuge weiterer Planungen zu überprüfen und gegebenenfalls anzupassen sind:

- Bis zu 12 Lastzüge können maximal bei einschichtigem Betrieb, d. h. pro 6 h-Schicht, im Schacht gefördert werden.

Ein Lastzug entspricht einem Endlagerbehälter mit wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen (Variante B1: POLLUX<sup>®</sup>-Behälter, CASTOR<sup>®</sup> THTR/AVR, CASTOR<sup>®</sup> KNK, CASTOR<sup>®</sup> MTR 2; Variante C: Transferbehälter mit Brennstabkockille bzw. Triple-Pack). Bei den Endlagerbehältern mit Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung (Variante A) entspricht ein Lastzug

- zwei mit einem oder zwei Rundgebinden beladene Tausch- oder Transportpaletten, oder
  - zwei Container der Typen I, II, III, IV oder VI (und VII) oder
  - einem Container Typ V.
- Bei der Auslegung der Pufferbereiche wird davon ausgegangen, dass für die Endlagerbehälter nur eine kurzzeitige Pufferung erforderlich sein wird. Für die Rundgebinde (Beton- und Gussbehälter) mit radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung sind die Anlieferung, Entladung, Pufferung und der innerbetriebliche Transport auf Tausch- und Transportpaletten zu berücksichtigen.

Beim bestimmungsgemäßen Betrieb ist grundsätzlich keine zusätzliche Pufferung der Endlagerbehälter mit wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen vorgesehen. Es wird davon ausgegangen, dass die am Endlager ankommenden Behälter noch am gleichen Tag nach unter Tage gebracht werden. Endlagerbehälter der Variante B1 (Streckenlagerung) und C (Bohrlochlagerung) werden nur aus der übertägigen Konditionierungsanlage erwartet, so dass die Anzahl eventuell zu puffernder Endlagerbehälter gering ist und im Falle einer Betriebsstörung kurzfristig Anlieferungen gestoppt werden können. Für die Variante B1 sind allerdings zusätzlich Pufferkapazitäten für direkt von den Ablieferungspflichtigen ans Endlager abzuliefernde Transport- und Lagerbehälter (CASTOR<sup>®</sup> THTR/AVR, CASTOR<sup>®</sup> KNK, CASTOR<sup>®</sup> MTR 2) zu berücksichtigen.

Bei Endlagerbehältern mit radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung werden Pufferkapazitäten für den Normalbetrieb und für Betriebsstörungen berücksichtigt. Für die Planung der Pufferkapazitäten wird unterstellt, dass ein Zug mit 50 Endlagerbehältern am Endlager bereits angeliefert, aber noch keiner der Endlagerbehälter nach unter Tage gebracht werden konnte, und ein weiterer Zug mit 50 Endlagerbehältern zum Endlager unterwegs ist. Aus diesem Grund sind Pufferkapazitäten für die Endlagerbehälter von zwei Zügen vorzuhalten. Die Pufferkapazitäten ermöglichen die zügige Annahme der angelieferten Endlagerbehälter unabhängig von dem zu einem späteren Zeitpunkt festzulegenden Einlagerungsregime.

Für die Pufferung von Endlagerbehältern wird von folgenden Erfordernissen ausgegangen:

- Endlagerbehälter mit radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung (Variante A):  
100 Endlagerbehälter und zusätzlich 10 leere Tausch- und Transportpaletten
  - Endlagerbehälter der Variante B1 (Streckenlagerung):  
2 POLLUX<sup>®</sup>-Behälter und zusätzlich 24 Transport- und Lagerbehälter (CASTOR<sup>®</sup> THTR/AVR, CASTOR<sup>®</sup> KNK, CASTOR<sup>®</sup> MTR 2)
  - Endlagerbehälter der Variante C (Bohrlochlagerung):  
2 Transferbehälter beladen mit Brennstabkockillen bzw. Triple-Packs und zusätzlich 24 Transport- und Lagerbehälter (CASTOR<sup>®</sup> THTR/AVR, CASTOR<sup>®</sup> KNK, CASTOR<sup>®</sup> MTR 2)
- Der Gebindettransport zum Schacht erfolgt gleisgebunden. Es sind Stellplätze für Plateauwagen vorzusehen.

Zum jetzigen Zeitpunkt wird die Anzahl der Plateauwagen für Endlagerbehälter der Variante B1 (Streckenlagerung) und C (Bohrlochlagerung) mit 3 Stück als sinnvoll angesehen. Dies setzt eine kontinuierliche, gleichmäßige Einlagerung der Endlagerbehälter über die gesamte Betriebsdauer des Endlagers voraus. Die Anzahl der Plateauwagen für Endlagerbehälter mit radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung (Variante A) wird zu einem späteren Zeitpunkt festgelegt, da sie in starkem Maße abhängig von dem noch festzulegenden Einlagerungsregime ist.

- Die Gleisanlage muss mindestens folgende Bereiche einschließen:

- Bereitstellungs- und Transportbereich für den Gebindetransport zur Schachtförderanlage und
- Schachthalle mit Schachtförderanlage

und den Zugriff auf die Plateauwagen ermöglichen.

- Die Korbbeschickung erfolgt einseitig.
- Eine Seite des Flurbereichs des Förderturms ist für den Einsatz der mobilen Friktionsswinde zum Seilwechsel freizuhalten.

In Abb. 3.2 ist die Anordnung der Gebäudeteile und Funktionsbereiche der Umschlagsanlage dargestellt. Die Umschlagsanlage ist südöstlich der Schachthalle angeordnet. Umschlagsanlage und Schachthalle bilden einen einheitlichen Gebäudekomplex. Östlich der Umschlagsanlage ist das Technik-, Sozial-, Labor- und Bürogebäude und nordöstlich die Hauptgrubenlüfteranlage geplant. Die Anordnung der Funktionsbereiche der Umschlagsanlage sowie der Zu- und Ausfahrten ist so gewählt, dass eine Erweiterung möglich ist.

### **Halle I – Entladehalle**

Die Entladehalle ist zwischen den Pufferhallen und dem Übergabebereich der Bereitstellungs- und Transporthalle angeordnet. Sie wird längs von dem Zufahrtsgleis und der Zufahrtsstraße durchlaufen.

Die Entladehalle ist in zwei Funktionsbereiche für die Entladung der Endlagerbehälter mit radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung (Funktionsbereich IA) sowie für die Entladung der Endlagerbehälter mit wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen (Funktionsbereich IB) unterteilt. Quer durch den Funktionsbereich IA der Endlagerbehälter mit radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung verläuft ein Brückenkran mit einer Nutzlast bis 40 t. Durch den Funktionsbereich IB der Endlagerbehälter mit wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen verläuft ein Brückenkran mit der Nutzlast 75 t. Beide Kräne können von der jeweiligen Pufferhalle bis in die Bereitstellungs- und Transporthalle verfahren werden.

In den jeweiligen Funktionsbereichen der Entladehalle erfolgt die Eingangskontrolle (Sichtkontrolle) der eingehenden Endlagerbehälter. Mit einem Brückenkran werden die Endlagerbehälter entladen und in den entsprechenden Übergabebereich der Bereitstel-

lungs- und Transporthalle (IA oder IB) transportiert, wo die Eingangskontrolle durch den Strahlenschutz 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 wird daraufhin die Freigabemessung und Abfertigung der ausgehenden leeren Transportfahrzeuge vorgenommen.

### **Halle II – Pufferhalle für Endlagerbehälter mit radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung**

In der Pufferhalle II für den Abfallstrom der Variante A werden Endlagerbehälter mit radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung, die nicht direkt von der Entladehalle zur Einlagerung weitertransportiert werden können, kurzzeitig gepuffert. Bei Bedarf und soweit möglich werden die Endlagerbehälter gestapelt. Des Weiteren werden in der Pufferhalle leere Tausch- und Transportpaletten gelagert. Für den Weitertransport werden die Endlagerbehälter mit dem Brückenkran aus der Pufferhalle über die Entladehalle und den Übergabebereich in den Transportbereich der Bereitstellungs- und Transporthalle transportiert und auf Plateauwagen verladen.

### **Halle III – Pufferhalle für Endlagerbehälter mit wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen**

In der Pufferhalle III für die Abfallströme der Variante B (B1 + B2) und Variante C werden Endlagerbehälter mit wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen der Variante B1 und B2 (Streckenlagerung) und Endlagerbehälter mit wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen der Variante C (Bohrlochlagerung) in Transferbehältern bei betrieblichen Störungen kurzzeitig zwischengelagert. Diese Endlagerbehälter /Transferbehälter werden mit dem Brückenkran von der Entladehalle in die Pufferhalle transportiert und abgestellt, bzw. zur Einlagerung von der Pufferhalle über die Entladehalle und den Übergabebereich in den Transportbereich der Bereitstellungs- und Transporthalle transportiert und auf Plateauwagen verladen.

### **Halle IV – Bereitstellungs- und Transporthalle**

Die Bereitstellungs- und Transporthalle schließt mit einer Querseite an die Schachthalle an. Die Halle ist in den Transportbereich und den Übergabebereich geteilt. An die gegenüberliegende Querseite der Bereitstellungs- und Transporthalle schließen die räumlich von der Halle getrennten Bereiche der Werkstatt und der Sonderbehandlung an. Die Halle ist mit einer Gleisanlage und mit Querverschüben sowie einer stationär

installierten Flurfördereinrichtung für den gleisgebundenen Flurtransport der Plateauwagen ausgerüstet.

In der Bereitstellungs- und Transporthalle werden alle Endlagerbehälter auf innerbetriebliche Plateauwagen umgeladen. Die umgeladenen Endlagerbehälter werden auf den Plateauwagen in die Schachthalle oder, bei Erfordernis, in die Sonderbehandlung transportiert. Von der Sonderbehandlung werden die Endlagerbehälter entweder in die Schachthalle oder in die entsprechende Pufferhalle gebracht.

Defekte oder kontaminierte Transferbehälter werden zur Sonderbehandlung transportiert. Entladene Tausch- und Transportpaletten werden aus der Schachthalle in die Pufferhalle II transportiert. Vom Transportbereich der Halle können Ausrüstungen mittels Plateauwagen in die Werkstatt transportiert werden. Im Transportbereich der Halle werden Plateauwagen abgestellt. Im Übergabebereich der Halle erfolgt die Eingangskontrolle der eingehenden Endlager- und Transferbehälter. Des Weiteren können hier Lastanschlagmittel, Abdeckhauben u. a. abgestellt werden.

#### **Halle V – Werkstatt**

In der Werkstatt werden mechanische und elektrotechnische Wartungs- und Reparaturarbeiten an den Ausrüstungen der Umschlagsanlage sowie die Fertigung von Neuteilen durchgeführt. Wartungs- und Reparaturarbeiten an Plateauwagen werden nach erforderlicher Oberflächendekontamination ebenfalls in der Werkstatt durchgeführt.

Die Werkstatt ist mit einem Brückenkran, Tragfähigkeit 10/2 t, ausgerüstet und kann mit Plateauwagen befahren werden.

#### **Halle VI – Sonderbehandlung**

In der Sonderbehandlung erfolgt eine ggf. erforderliche Oberflächendekontamination von eingehenden Endlagerbehältern und vom im Endlager bereits eingesetzter Transportmittel (Transferbehälter, Tausch- und Transportpaletten, Plateauwagen). Des Weiteren werden erforderliche Reparaturen an den Endlagerbehältern, Transportmitteln und Ausrüstungen, mit Ausnahme der Plateauwagen, vorgenommen.

Die dabei entstehenden festen und flüssigen radioaktiven Abfälle werden gesammelt und dem Bereich für die Sammlung und Behandlung radioaktiver Betriebsabfälle (Halle X) zugeführt.

## **Hallen VII und VIII – Technik A und Technik B**

In diesen Komplexen werden die Anlagen zur Energie- und Medienversorgung, die Leittechnik und die Lüftungszentrale der Umschlagsanlage zusammengefasst.

## **Halle IX – Personaleingangsbereich**

Das Gebäude 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 Bedingungen des Strahlenschutzes in Strahlenschutzbereiche eingeteilt. Des Weiteren befindet sich hier die Wäscherei.

## **Halle X – Sammlung und Behandlung radioaktiver Betriebsabfälle**

Die Halle X ist für die Sammlung, Behandlung und Konditionierung fester und flüssiger radioaktiver Betriebsabfälle bestimmt. Die konditionierten Abfälle werden von hier zur Endlagerung bereitgestellt.

## **Halle XI – Technik-, Sozial-, Labor- und Bürobereich**

Der Technik-, Sozial-, Labor- und Bürobereich ist in der Halle XI untergebracht.

### **3.3 Schachthalle (Halle XII), Schacht 2**

Die Schachthalle schließt unmittelbar an den Transportbereich der Umschlagsanlage an (s. Abb. 3.2) und dient dem Zugang zum Schacht 2. Der Schacht 2 ist mit einer Hauptseilfahranlage und einer mittleren Seilfahranlage ausgerüstet. Über die Hauptseilfahranlage des Schachtes 2 erfolgt der Transport der Endlagerbehälter/Transferbehälter auf Plateauwagen nach unter Tage sowie der entladenen Transportmittel (Plateauwagen, Tausch-/Transportpaletten, Transferbehälter) von unter nach über Tage. Außerdem besteht die Möglichkeit, die große Nutzlast dieser Anlage für gelegentlich erforderliche Schwerlasttransporte zu nutzen. Da der Schacht 2 als ausziehender Wetterschacht dient, muss die Umschlagsanlage einschließlich der Schachthalle wettertechnisch von den Abwettern durch Schleusen getrennt werden. Die mittlere Seilfahrförderanlage wird für Seilfahrten nach Betriebsstörungen nach unter Tage und zusätzlich zur Schachtrevision genutzt.

Die Schachthalle umfasst die Bereiche Schachtbeschickung mit Schachtförderanlagen einschließlich Schachtschleusen sowie Gleisanlagen für Transporte zum bzw. vom Schacht, Lagerräume für Ersatzfördermittel und Räume für erforderliche Nebenfunktionen. Aus der Bereitstellungs- und Transporthalle führen zwei Gleise in die Schachthalle. Die Schachthalle ist mit Toren ausgestattet, die ein Befahren mit LKW und Gabelstaplern ermöglichen.

Die mit Endlagerbehältern 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 leeren Plateauwagen bzw. die mit Tausch- und Transportpaletten, Transferbehältern oder mit Behältern mit betrieblichen Abfällen beladenen Plateauwagen vom Fördergestell abgezogen und über die Schachtschleuse in den Transportbereich der Umschlagsanlage transportiert.

Mit Hilfe einer Friktionswinde und Haspeln, die auf entsprechenden Fundamenten außerhalb der Schachthalle verankert werden, können die verbrauchten Seile ab- und die neuen Seile aufgelegt werden. Räume für die Lagerung der Ausrüstungen für das Seilwechseln sowie für die Lagerung der mobilen Schachtwinde (Hilfsfahranlage für Rettungsmaßnahmen) werden in der Schachthalle des Schachtes 2 nicht vorgesehen, da entsprechende Lagerräume im Anbau der Schachthalle des Schachtes 1 vorgesehen sind. Im Bedarfsfall werden diese Ausrüstungen von dort zum Schacht 2 transportiert.

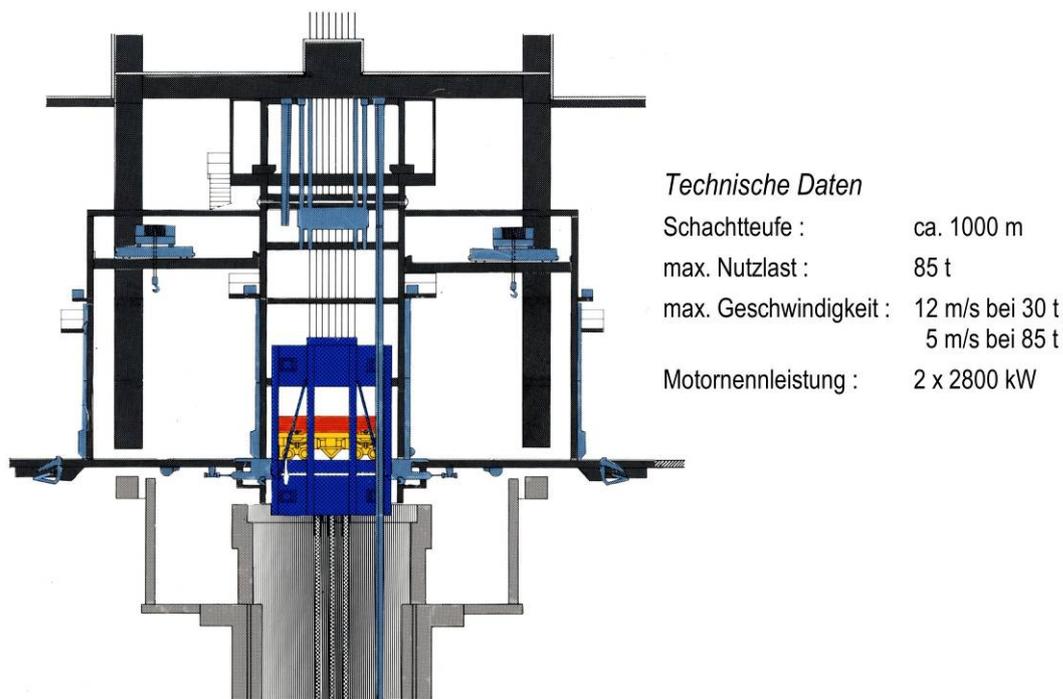
An der Nordwestseite der Schachtbeschickungshalle schließt ein Anbau mit dem Raum für die Lagerung der Ersatzfördermittel, die elektrotechnischen Betriebsräume (Traforäume, Mittel- und Niederspannung) zur Versorgung der Einrichtungen des Förderturms einschließlich Fördermaschine sowie der übrigen Verbraucher der Schachthalle und der Aufenthaltsraum für Bedienungspersonal an.

### **3.4 Schachtförderanlage Schacht 2**

#### **3.4.1 Schachtbeschickungsanlage**

Die Schachtbeschickungsanlagen auf der Rasenhängebank (RHB), der Förderkorbhalteposition zu ebener Erde, und am Füllort unter Tage sind baugleich ausgeführt. Auf

den Gleisen fährt ein Kupplungswagen in einem Führungskanal über einen teleskopartig wirkenden Antriebsschlitten bis in das Fördergestell. Der Kupplungswagen erfasst den Plateauwagen über den Steg der Mitnahmevorrichtung. Neben dem inneren Schleusentor, das als Schachtsperre ausgelegt ist, befinden sich in beiden Anschlussgleisen des Fördergestells Gleissperren. Beide Sicherungseinrichtungen bilden eine redundant und diversitär wirkende Sperre vor ungewollten Plateauwagenbewegungen zum Schacht. Abb. 3.3 zeigt in einer Prinzipskizze die wesentlichen Elemente einer Schachtbeschickungsanlage.



**Abb. 3.3** Prinzipskizze einer Schachtbeschickungsanlage

### 3.4.2 Hauptseilfahrtanlage

Die Fördermaschine der Hauptseilfahrtanlage befindet sich auf einer Bühne des Förderturms. Über die Treibscheibe laufen 8 Förderseile, deren eines Ende mit dem Förderkorb und deren anderes Ende mit dem Gegengewicht verbunden ist. Über Reibschluss wird die Antriebsenergie auf die Förderseile übertragen. Mit dem Gegengewicht wird die sonst einseitig wirkende Nutzlast auf den halben Wert ausgeglichen. Somit wirkt bei beladenem Fördergestell förderseitig die gleiche Überlast wie gegengewichtsseitig bei einem unbeladenen Fördergestell. Das Eigengewicht der Förderseile wird durch Unterseile, die hängend das Fördergestell und das Gegengewicht

miteinander verbinden, ausgeglichen. Zwei Antriebsmotoren sind jeweils beidseitig direkt ohne Zwischenschaltung eines Getriebes mit der Treibscheibe verbunden.

Die Bremsenrichtung ist als kombinierte Fahr- und Sicherheitsbremse ausgeführt. Die Bremsenrichtung entspricht in ihrer Bauart einer Scheibenbremse, wobei die Bremspakete direkt auf die Bremscheiben der Treibscheibe wirken. Die Bremskrafterzeugung funktioniert nach dem Auslassprinzip. Danach wird die Bremskraft durch Federpakete erzeugt, wobei die Bremsen nur bei störungsfreiem Betrieb hydraulisch lüftbar sind. Die wesentlichen Daten der Hauptseilfahrtanlage sind in Tab. 3.2 aufgeführt.

**Tab. 3.2** Daten der Hauptseilfahrtanlage

Förderteufe	870 m
Art der Förderung	Koepeförderung mit Gestellförderung und Gegengewicht
Nutzlast bei - Normallastförderung - Schwerlastförderung	30 Mg 85 Mg
Fördergeschwindigkeiten - Normallast - Schwerlast	12 m/s 5 m/s
Anordnung der Fördermaschine	Turm
Seillast S1 (Fördertrum)	ca. 214,2 Mg
Seillast S2 (Gegengewichtstrum)	ca. 171,7 Mg
Überlast	42,5 Mg
Anzahl der Tragseile	8
Seildurchmesser	ca. 50 mm
Treibscheibendurchmesser	5.000 mm
Rechnerische Seilsicherheit bei Förderung	7,27fach
Geforderte Seilsicherheit	6,72fach
Anzahl der Unterseile	3
Motor-Nennleistung	2 x 2.800 kW

Das Plateauwagengleis im Fördergestell befindet sich auf einem Zwischenboden, der sich – axial geführt – relativ zum Tragboden des Fördergestells bewegen kann. Dieser Zwischenboden wird auf der RHB und im Füllort untertage nach einem erfolgten Fördervorgang auf Absetzklinken starr mit den jeweiligen Anschlussgleisen verbunden. Die Absetzklinken übernehmen nach dem Absetzvorgang mit der folgenden Senkbe-

wegung des Fördergestells die volle Nutzlast. Damit werden Bewegungen des Fördergestells ausgeschlossen, die durch wechselnde Belastung der Förderseile aufgrund von Dehnungen entstehen. Bei dem Transport des POLLUX®-Behälters auf dem Platteauwagen ist mit einer Seildehnung von ca. 10 cm/100 m Förderhöhe auszugehen.

### **3.5 Hauptgrubenlüfteranlage mit Abwetterkanal, Diffusor und Kamin**

Das Hauptgrubenlüftergebäude ist in nordöstlicher Richtung vom Schacht 2 angeordnet. Der Kamin ist unmittelbar hinter der Ausblaskammer in Achsrichtung des Wetterkanals platziert (s. Abb. 3.1). Die Hauptgrubenlüfteranlage kann als liegende Anlage ausgeführt werden. Der Wetterkanal verläuft unterirdisch zu dem Lüfter. In dem Wetterkanal ist vor dem Lüfter ein Wetterschieber zur Absperrung des Stranges eingebaut. Zwischen Schacht und Wetterkanal sowie Wetterkanal und Wetterschieber ist ein Schutzgitter für den Personenschutz beim Begehen des Wetterkanals angeordnet. Des Weiteren sind im Wetterkanal Schalldämpfer eingebaut. Der Lüfter kann als zweistufiger Axiallüfter ausgeführt werden. Dem Lüfter nachgeschaltet ist der horizontale Diffusor. Die Ausblaskammer wird hinter den druckseitigen Schalldämpfer in einem Wetterkanalanschluss in den Zentralbereich des Kamins geführt.

Über den Kamin soll neben den Grubenabwettern auch die Fortluft aus der Umschlagsanlage abgeführt werden. Aus diesem Grund wird der Kaminquerschnitt bis zur Ausblaskante in einen Vollkreis und einen Kreisringquerschnitt aufgeteilt. Im Vollkreisquerschnitt werden die Grubenabwetter abgeführt und im Kreisringquerschnitt die Fortluft der Umschlagsanlage. Die Querschnitte sind so dimensioniert, dass bei den jeweiligen Nennwetterleistungen aus der Grube unter Berücksichtigung des westlichen und östlichen Flügels des Salzstocks und der Fortluft aus der Umschlagsanlage die mittlere Geschwindigkeit in den Teilquerschnitten annähernd gleich ist.

## **4 Konzeption des Grubengebäudes**

### **4.1 Grundlagen und Planungsrandbedingungen**

Als Basis für die Grubengebäudeplanungen dient zum einen das Arbeitsmodell zum strukturellen Aufbau des Salzstocks Gorleben /BFS 90/. Zum anderen wird das Abfallmengengerüst gemäß Vorgabe Arbeitspaket 3 den Planungen zugrunde gelegt. Weiterhin werden auch die Erkundungsergebnisse, Stand Dezember 2001, für die Planung des Grubengebäudes berücksichtigt. Für die geometrische Auslegung des Grubengebäudes werden die Wärmeleistungen und die daraus folgenden Behälter- und Streckenabstände aus /DBE 98/ soweit sinnvoll genutzt.

Gemäß Aufgabenstellung ist eine Grubengebäudeplanung für die Einlagerungskonzepte Variante B1: Streckenlagerung und Variante C: Bohrlochlagerung für wärmeentwickelnden Abfall kombiniert mit einer Kammerlagerung für vernachlässigbar wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle (Variante A) durchgeführt worden. Bei der Betriebsdauer des Endlagers ohne Stilllegungsphase wurde unter der Voraussetzung einer Inbetriebnahme 2035 auf Basis des entladenen Kerns des letzten aktiven Reaktors zunächst von 40 Jahren ausgegangen. Bei der Einlagerung von wärmeentwickelnden Abfällen soll die Temperatur an den Grenzflächen des Salzes zu den Behältern 200 °C nicht übersteigen.

#### **4.1.1 Zugang zum Endlager**

Der Salzstock wird im Rahmen der untertägigen Erkundung durch zwei Schächte und die in 840 m Teufe aufgefahrenen Erkundungsstrecken erschlossen. Die Einlagerungshohlräume sollen in 870 m Teufe aufgefahren werden.

#### **4.1.2 Sicherheitsabstände zu den Schächten, Hauptanhydrit und Carnallit und Salzstockflanken**

Sicherheitsabstände sind zu berücksichtigen zwischen den Schächten und den Einlagerungsfeldern für wärmeentwickelnde Abfälle, zwischen den Einlagerungsfeldern und dem Carnallit und dem Hauptanhydrit sowie zu den Salzstockflanken.

Die Schächte wurden im Vergleich zum Staßfurt-Steinsalz im standfesteren Leine-Steinsalz abgeteuft und sind von Sicherheitspfeilern umgeben, um die Schächte weitgehend vor thermomechanischen Belastungen zu schützen. Der tatsächliche Radius des Sicherheitspfeilers, in dem wärmeentwickelnde Abfälle nicht eingelagert werden dürfen, kann nur durch Auslegungsberechnungen ermittelt werden. Die Allgemeine Bundesbergverordnung /ABV 09/ schreibt einen Schachtsicherheitspfeiler für Tageschächte von 50 m vor. In /KFK 89/ wurde ein erforderlicher Radius von 150 m abgeschätzt. Im Falle des Endlagers ist weiterhin die Zusatzbelastung aus den thermomechanischen Einwirkungen der Einlagerungsfelder mit wärmeentwickelnden Abfällen zu berücksichtigen. Als sicher wurde nach /DBE 89/ ein Abstand von ca. 300 m zum 1. Einlagerungsfeld ermittelt. Dieser Abstand ist bei der endgültigen Planung durch vorlaufende Berechnungen unter Zugrundelegung der realen Feldbelegung mit Gebinden zu verifizieren.

Die Einlagerung wärmeentwickelnder Abfälle wird im Staßfurt-Steinsalz vorgesehen, das sich durch besonders hohe Konvergenzraten auszeichnet /BLA 89/. Um eine zu starke thermomechanische Belastung der Anhydritlagen zu verhindern und die Freisetzung von Kristallwasser aus dem Carnallit auszuschließen, ist ein Sicherheitsabstand einzuhalten. Hinsichtlich des Sicherheitsabstandes zum Hauptanhydrit ist die zulässige Spannung, induziert aus thermischer Belastung, zu ermitteln. Auch hier ist ein Sicherheitsabstand auf der Basis von realen Feldbelegungen zu ermitteln. Für die Ermittlung des Sicherheitsabstandes zum Carnallit wurde in /COM 84/ 135 °C als maximal zulässige Temperatur zugrunde gelegt. Unter der dort vorausgesetzten Feldbelegung durch wärmeentwickelnde Abfälle ergab sich daraus ein Sicherheitsabstand von 40 m zum Carnallit. Diese Berechnung ist hinsichtlich der dort verwendeten Grundlagen bei der endgültigen Planung zu überprüfen. In /DBE 98/ wurde für ein POLLUX<sup>®</sup> 8-DWR-Feld der Temperaturverlauf berechnet. Die Ergebnisse zeigen, dass die Temperatur zum Anhydrit am nördlichsten Stoß der Richtstrecke 100 °C nicht übersteigt, so dass für dieses Konzept der Sicherheitsabstand zum Carnallit unter bergbaulichen Gesichtspunkten zu wählen war. In /MIN 10/ wurden vorläufig 50 m Sicherheitsabstand für Strecken, Kammern und Bohrlöcher zum Hauptanhydrit/Carnallit festgelegt. Dieser Sicherheitsabstand wird durch Rechnungen in Arbeitspaket 9 verifiziert. Die Sicherheitsfeste gegen die Salzstockflanken soll nach § 224 der Allgemeinen Bergverordnung über Untertagebetriebe, Tagebaue und Salinen im Oberbergamtsbezirk Clausthal-Zellerfeld (ABVO) /ABU 96/ bei bekanntem Verlauf der Salzstockflanken mindestens 150 m betragen.

## 4.2 Endlagerkonzepte

### 4.2.1 Infrastrukturbereich

Im Bericht /DBE 98/ wurde davon ausgegangen, dass die Infrastrukturräume der Erkundungssohle über eine Wendel an den Überwachungsbereich der Einlagerungssohle angekoppelt und somit weitergenutzt werden können. Um die zusätzliche Durchörterung des Hauptsalzes zu vermeiden wird vorausgesetzt, dass für die Komponenten im Überwachungsbereich der Einlagerungssohle neue Infrastrukturräume in Analogie zur Einlagerungssohle (110.000 m<sup>3</sup>) aufgefahren werden müssen. Der Gebindetransport für alle Arten von Abfällen erfolgt vom Füllort des Schachtes 2 im Kontrollbereich nach jetziger Planung gleisgebunden bis in die Einlagerungsstrecken der jeweiligen Einlagerungsfelder.

Für die Einrichtungen und Maschinen des Kontrollbereiches ist auf der Einlagerungssohle ein zweiter Infrastrukturbereich aufzufahren. Zu berücksichtigen sind hierbei Funktionsflächen für

- E- und Mechanik-Werkstatt, Magazin und Schmierstofflager
- Mannschafts- und Steigeraufenthaltsräume
- Dosisleistungsmessungen
- Dekontamination
- Abstellplätze in Abhängigkeit von der Anzahl der eingesetzten gleislosen/gleisgebundenen Fahrzeuge
- Kfz-Werkstatt
- Lok-Werkstatt
- Batterieladeraum
- Rangiergleise für die Zusammenstellung von Einlagerungszügen
- Elektr. Versorgungsraum (Trafoanlage)
- Markscheiderei

Abgeschätzt wird für den zweiten Infrastrukturbereich ein Ausbruchsvolumen von ca. 110.000 m<sup>3</sup>. Zusätzlich ist ein Bunker mit ca. 10.000 m<sup>3</sup> Volumen für Versatzmaterial

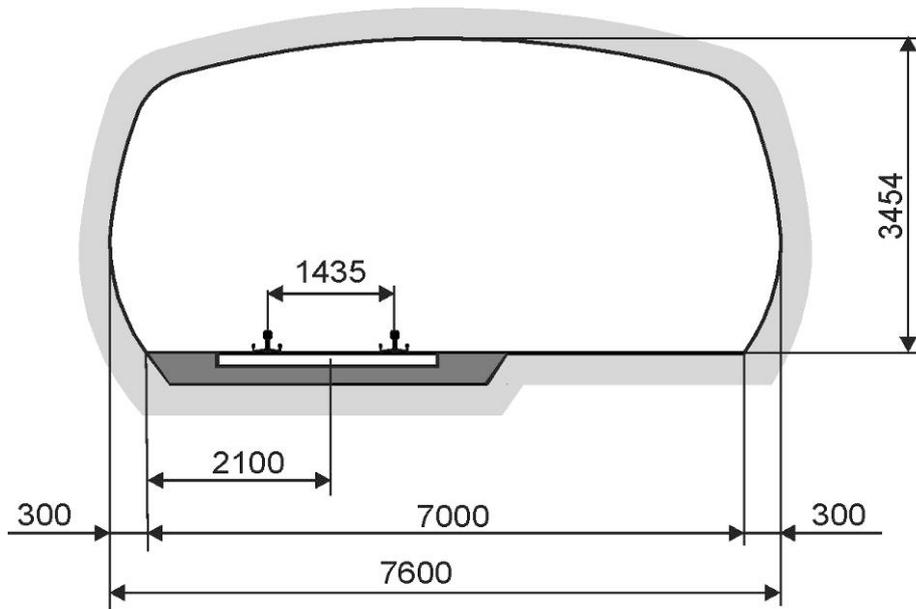
erforderlich, der gleichzeitig die Grenze zwischen der Versatzgutaufgabe aus der Auffahrung im Überwachungsbereich und dem Abzug von Versatzgut für Versatzmaßnahmen im Kontrollbereich bildet.

#### 4.2.2 Einlagerungsvariante B1 Streckenlagerung und Variante A

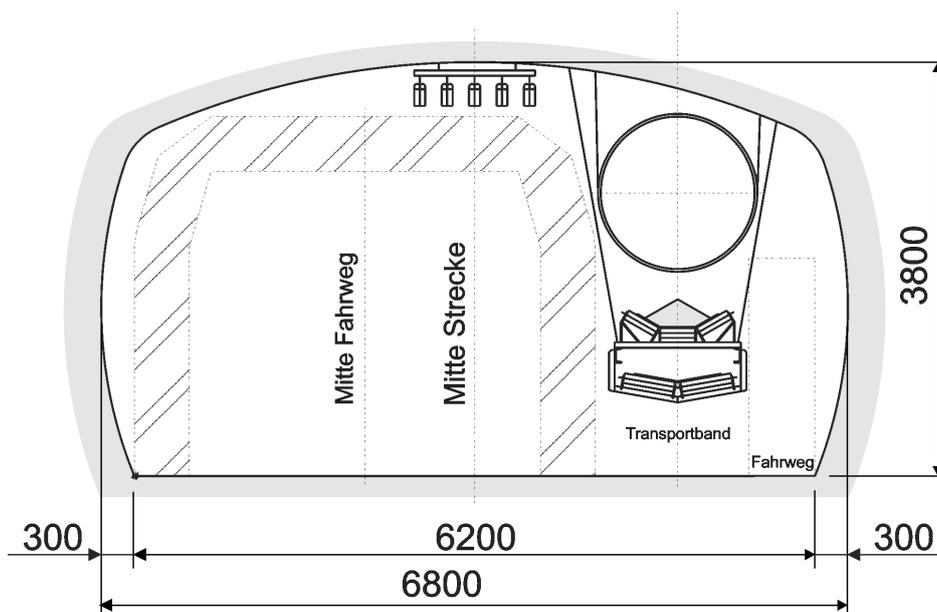
Die Auffahrung der erforderlichen Einlagerungsfelder wird mit der Erstellung der Richtstrecken und Querschläge für die wärmeentwickelnden Abfälle im Nordosten und für die vernachlässigbar wärmeentwickelnden radioaktiven Abfälle im Südwesten begonnen. Die Querschnitte der nördlichen Richtstrecken und Querschläge hängen von den Lichtraumprofilen der eingesetzten Transporttechnik ab. Auf der Basis der gleisgebundenen Transporttechnik mit einem parallelen Fahrweg ergibt sich ein Streckenprofil (Abb. 4.1) mit einem Querschnitt von ca. 24 m<sup>2</sup>. Die südlichen Richtstrecken für die Vorrichtung der Einlagerungstrecken können analog der Erkundungstrecken (Abb. 4.2) mit einem Querschnitt von ca. 23 m<sup>2</sup> aufgefahren werden.

Aus diesen Vorgaben lassen sich das Ausbruchsvolumen auf der Basis der möglichen Ausdehnung der Einlagerungsfelder für die nördlichen und südlichen Richtstrecken sowie der Querschläge während der Errichtungsphase im Bereich mit wärmeentwickelndem und mit vernachlässigbar wärmeentwickelndem radioaktivem Abfall abschätzen.

Nördliche Richtstrecke	ca. 5.390 m x 24 m <sup>2</sup> =	129.360 m <sup>3</sup>
Südliche Richtstrecke	ca. 9.100 m x 23 m <sup>2</sup> =	209.300 m <sup>3</sup>
Querschläge	ca. 9.730 m x 24 m <sup>2</sup> =	233.520 m <sup>3</sup>
		<u>572.180 m<sup>3</sup></u>

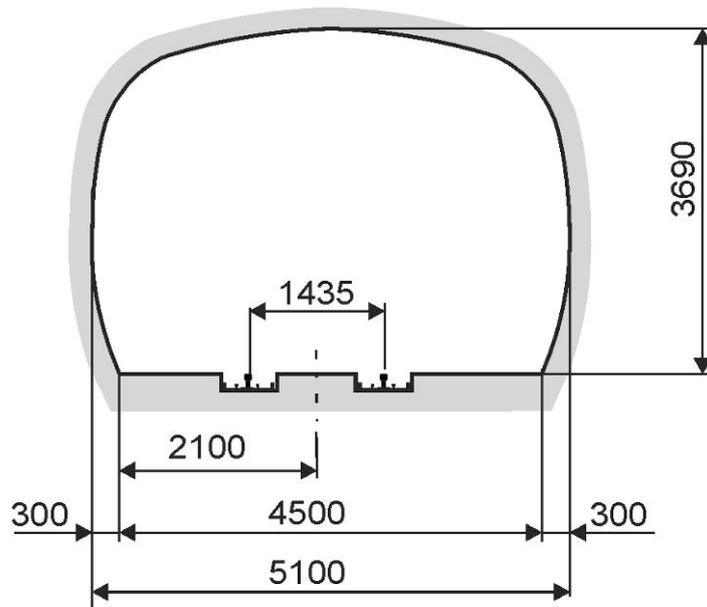


**Abb. 4.1** Profil der Richtstrecke Nord und der Querschläge  
Variante B1 Streckenlagerung und Variante A (Angaben in mm)



**Abb. 4.2** Querschnittsprofil der Richtstrecke Süd (Angaben in mm)

Für die Einlagerungsstrecke (Abb. 4.3) für POLLUX<sup>®</sup> 10-Endlagerbehälter wurde bei der Variante S1 Streckenlagerung in Abhängigkeit von der Einlagerungstechnik ein Querschnitt von ca. 17 m<sup>2</sup> ermittelt.



**Abb. 4.3** Querschnittsprofil der Einlagerungsstrecke für die Streckenlagerung wärmeentwickelnder Abfälle (Angaben in mm)

Dieser Streckenquerschnitt ist im ersten Ansatz auch für die Einlagerung von allen anderen Gebinden für die Streckenlagerung zugrunde gelegt worden.

In das Arbeitsmodell Gorleben lassen sich im Ostflügel 17 Einlagerungsfelder für Endlagerbehälter mit wärmeentwickelnden Abfällen einskizzieren (Ost 1 – Ost 17). Im Westflügel ist ein Einlagerungsbereich für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung (West 1 – 3) vorgesehen (Abb. 4.4). Die Größe der Einlagerungsfelder für die Streckenlagerung orientiert sich an der Lage der Hauptanhydrit- und Carnallitischichten im Übergangsbereich zwischen dem älteren und dem jüngeren Steinsalz. Zu den Hauptanhydrit- und Carnallitischichten wird ein Sicherheitsabstand von 50 m eingehalten in denen keine Auffahrungen zulässig sind.

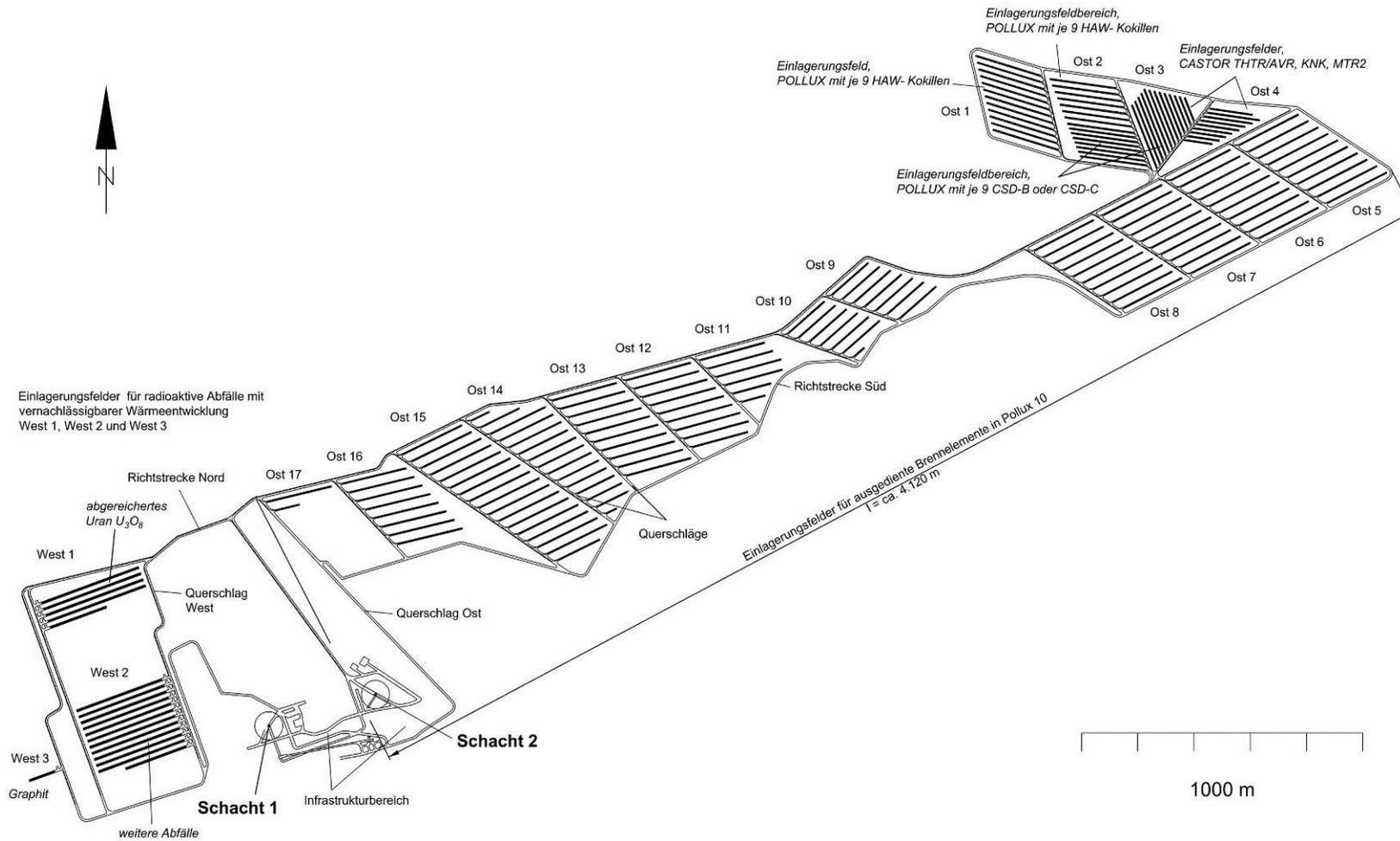
In einem Schnitt von Norden nach Süden liegen demgemäß

- die nördliche Richtstrecke als Transportstrecke für die Endlagergebände;
- die Abzweige zu den Querschlägen, die die nördliche Richtstrecke mit der südlichen Richtstrecke verbinden; die Querschläge selber dienen als Transportverbindungen zu den angebundenen parallel zur Richtstrecke liegenden Einlagerungsstrecken;

- die erste Einlagerungsstrecke parallel zur Richtstrecke mit einer Sicherheitsfeste von mindestens doppelter Richtstreckenbreite.

Folgende Grundsätze wurden bei der Konzeption berücksichtigt

- Aus Bewetterungsgründen ist die Länge der Einlagerungsstrecken auf 250 m begrenzt.
- Aufgrund des gewählten Gleistransportes zweigen die Querschläge unter 120° von der Richtstrecke ab. Gleiches gilt für den Übergang vom Querschlag zur Einlagerungsstrecke.
- Die nördliche Richtstrecke, die im Betrieb befindlichen Querschlagabschnitte und Einlagerungsstrecken sind Kontrollbereiche.
- Die südliche Richtstrecke und die in der Auffahrung befindlichen Einlagerungsstrecken sind dem Überwachungsbereich zuzuordnen.
- Wetter aus dem Kontrollbereich dürfen nicht über den Überwachungsbereich geführt werden.
- Die Einlagerung erfolgt vom entferntesten Einlagerungsfeld in Rückbau zum Schacht.
- Die Einlagerung beginnt mit den bereits bei Einlagerungsbeginn komplett vorliegenden Abfallkategorien im Bereich der wärmeentwickelnden Abfälle.



**Abb. 4.4** Gesamtdarstellung (870 m-Sohle) Variante B1: Streckenlagerung und Variante A

Für den Ostflügel wurde folgende Einlagerungsreihenfolge als Grundlage der Gesamtdarstellung Variante B1 berücksichtigt:

- POLLUX<sup>®</sup>-Behälter mit 9 CSD-V (HAW-Kokillen) mit der Zielsetzung, in dem nördlich Feld Ost 7 vermuteten Anhydrit eine Temperaturüberlagerung des „heißen“ HAW-Kokillen Streckenlagerungsfeldes mit den „heißen“ POLLUX<sup>®</sup>-Streckenlagerungsfeldern zu vermindern
- POLLUX<sup>®</sup>-Behälter mit 9 CSD-C oder 9 CSD-B-Kokillen
- CASTOR<sup>®</sup>-Behälter THTR/AVR, KNK und MTR 2
- POLLUX<sup>®</sup>-Behälter mit den gezogenen Brennstäben ausgedienter Brennelemente aus DWR, SWR und WWER

Im Westflügel des Salzstockes für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung sind drei unabhängig voneinander betreibbare Felder konzeptionell dargestellt. Durch die Unabhängigkeit voneinander lassen sie sich auch separat nach Befüllung schließen.

#### **Einlagerungsfelder für POLLUX<sup>®</sup>-10**

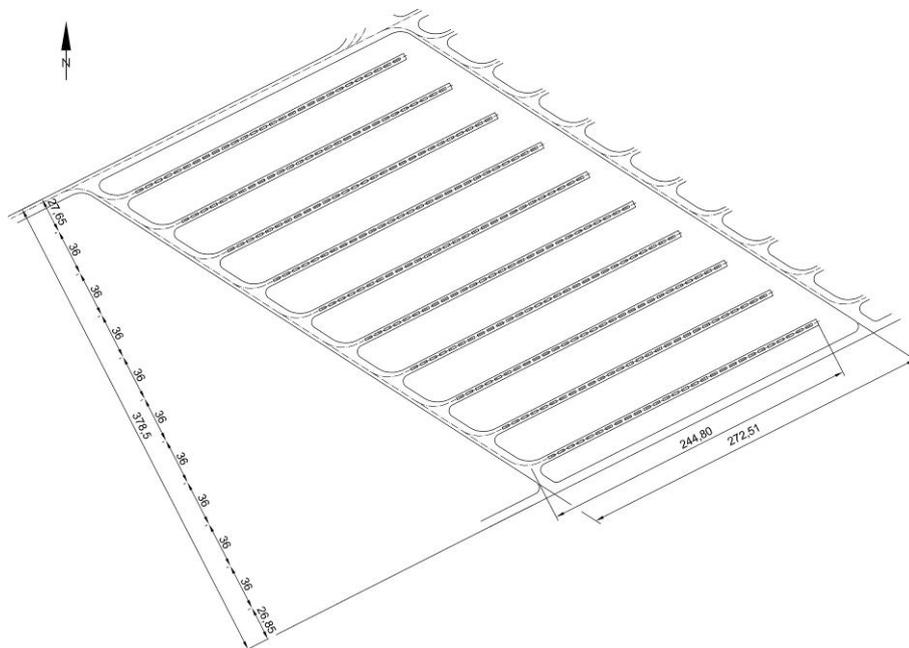
Da im Rahmen der „Aktualisierung des Konzepts Gorleben“ /DBE 98/ bei den Temperaturfeldberechnungen nur POLLUX<sup>®</sup>-Endlagerbehälter, beladen mit den Brennstäben aus 8 DWR-BE, als Berechnungsbasis berücksichtigt wurden, wurden die Gebindeabstände für den hier betrachteten POLLUX<sup>®</sup>-Endlagerbehälter, beladen mit den Brennstäben aus 10 DWR-BE, auf der Grundlage der vorliegenden Ergebnisse neu abgeschätzt. Unter Beibehaltung des Streckenabstandes von 36 m wurde der Behälterabstand bei 30 Jahren Zwischenlagerzeit von 1 m über den Faktor 8 zu 10 Brennelemente auf rechnerisch 2,63 m heraufgesetzt (Tab. 4.1).

**Tab. 4.1** Minimaler Behälter- und Streckenabstand für POLLUX<sup>®</sup>-8 und -10

<b>Endlagergebäude</b>	<b>Zwischenlagerzeit [a]</b>	<b>Behälterabstand [m]</b>	<b>Streckenabstand [m]</b>
POLLUX <sup>®</sup> -8	30	1	36
POLLUX <sup>®</sup> -10	30	2,63	36

Auf der Grundlage eines Streckenabstands von 36 m und eines Behälterabstands von 2,63 m sowie unter Berücksichtigung der erforderlichen Streckenquerschnitte ist in

Abb. 4.5 ein Einlagerungsfeld für POLLUX<sup>®</sup>-10-Endlagerbehälter beispielhaft dargestellt.



**Abb. 4.5** Einlagerungsfeld für POLLUX<sup>®</sup>-10

#### Einlagerungsfelder für POLLUX<sup>®</sup>-9 (CSD-V)

Bisher sind für mit 9 CSD-V (HAW-Kokillen) beladene POLLUX<sup>®</sup>-Behälter noch keine Temperaturfeldberechnungen durchgeführt worden. Grundsätzlich muss im Rahmen des Vorhabens VSG erst ermittelt werden, mit welcher Zwischenlagerzeit maximal ein POLLUX<sup>®</sup>-9 beladen werden kann. Aus dem Resultat der Berechnungen ergeben sich dann reale Behälterabstände in der Strecke und Streckenabstände im Feld. Im ersten Ansatz wird aufgrund der ähnlichen Wärmeleistung zum POLLUX<sup>®</sup>-8 nach 30 Jahren von einem frei gewählten Behälterabstand in der Strecke von 5,5 m bei einem Streckenabstand von 21 m ausgegangen (Tab. 4.2), so dass eine vergleichbare Fläche belegt wird.

**Tab. 4.2** Behälter- und Streckenabstand für POLLUX<sup>®</sup>-9 (CSD-V)

Endlager- gebäude	Zwischen- lagerzeit [a]	Behälter- abstand [m]	Strecken- abstand [m]	Fläche [m <sup>2</sup> ]/ Behälter
POLLUX <sup>®</sup> -8	30	1	36	234
POLLUX <sup>®</sup> -9 HAW	>30	5,5	21	231

### **POLLUX®-9 (CSD-B/CSD-C)**

Aufgrund der mit 20 Watt /BFS 90/ relativ geringen Wärmeproduktion sind für die Konzeption der Behälterabstände und der Streckenabstände rein maschinentechnische und bergbauliche Anforderungen zugrunde gelegt worden. Maschinentechnisch ist der geringste Abstand zwischen zwei Behältern mit der derzeitigen Einlagerungstechnik 1 m. Die Mindestpfeilerbreite zwischen zwei Strecken ist die doppelte Streckenbreite der breitesten Strecke. Somit ergibt sich hier ein Behälterabstand von 1 m und ein Streckenabstand (Mittelachse eingelagerte Behälter) von 15,3 m (Tab. 4.3)

**Tab. 4.3** Behälter- und Streckenabstand für POLLUX®-9 (CSD-B/CSD-C)

<b>Endlagergebäude</b>	<b>Behälterabstand [m]</b>	<b>Streckenabstand [m]</b>
POLLUX®-9 (CSD-B/CSD-C)	1	15,3

### **CASTOR® THTR/AVR, KNK und MTR 2**

Die CASTOR®-Behälter der Typen THTR/AVR, KNK und MTR 2 wurden alle als liegend eingelagerten Behälter beim Einlagerungskonzept berücksichtigt. Auch hier gilt, aufgrund der relativ geringen Wärmeproduktion, dass für Behälter und Streckenabstände nur maschinentechnische und bergbauliche Anforderungen zugrunde gelegt wurden. Somit wurde auch ein Behälterabstand von 1 m und ein Streckenabstand von 15,3 m für die Konzeption des Grubengebäudes genutzt.

**Tab. 4.4** Behälter- und Streckenabstand für CASTOR® THTR/AVR, KNK und MTR 2

<b>Endlagergebäude</b>	<b>Behälterabstand [m]</b>	<b>Streckenabstand [m]</b>
CASTOR® THTR/AVR, KNK und MTR 2	1	15,3

Tab. 4.5 gibt die Belegung der Felder und Strecken mit den Endlagerbehältern streckengenau wieder.

**Tab. 4.5** Felder mit Einzelstrecken Ost

Einlagerungs- feld-Nr.	Endlager- behälter	Anzahl Einlage- rungs- strecken	Anzahl Endlager- behälter pro Strecke	Gesamt- anzahl Endlager- behälter	Strecken- abstand	Behälter- abstand in Strecken- achse
					[m]	[m]
Ost 1	POLLUX <sup>®</sup> -9	12	21	252	21	5,5
Ost 2						
Ost 2.1 - 2.7	POLLUX <sup>®</sup> -CSD-B/C	7	35	245	15,3	1
Ost 2.8 a	POLLUX <sup>®</sup> -CSD-B/C	1	8	8	15,3	1
Ost 2.8 b	POLLUX <sup>®</sup> -9		16	16	21	5,5
Ost 2.9 - 2.15	POLLUX <sup>®</sup> -9	7	21	147	21	5,5
Ost 3						
Ost 3.1 - 3.5	POLLUX <sup>®</sup> -CSD-B/C	5	35	175	15,3	1
Ost 3.6	POLLUX <sup>®</sup> -CSD-B/C	1	32	32	15,3	1
Ost 3.7	POLLUX <sup>®</sup> -CSD-B/C	1	29	29	15,3	1
Ost 3.8 a	POLLUX <sup>®</sup> -CSD-B/C	1	2	2	15,3	1
Ost 3.8 b	CASTOR <sup>®</sup> THTR/AVR		42	42	15,3	1
Ost 3.9	CASTOR <sup>®</sup> THTR/AVR	1	40	40	15,3	1
Ost 3.10	CASTOR <sup>®</sup> THTR/AVR	1	35	35	15,3	1
Ost 3.11	CASTOR <sup>®</sup> THTR/AVR	1	30	30	15,3	1
Ost 3.12	CASTOR <sup>®</sup> THTR/AVR	1	25	25	15,3	1
Ost 3.13	CASTOR <sup>®</sup> THTR/AVR	1	20	20	15,3	1
Ost 4				319		
Ost 4.1	CASTOR <sup>®</sup> THTR/AVR	1	23	23	15,3	1
Ost 4.2	CASTOR <sup>®</sup> THTR/AVR	1	27	27	15,3	1
Ost 4.3	CASTOR <sup>®</sup> THTR/AVR	1	30	30	15,3	1
Ost 4.4	CASTOR <sup>®</sup> THTR/AVR	1	33	33	15,3	1
Ost 4.5	CASTOR <sup>®</sup> THTR/AVR	1	37	37	15,3	1
Ost 4.6	CASTOR <sup>®</sup> THTR/AVR	1	40	40	15,3	1
Ost 4.7	CASTOR <sup>®</sup> THTR/AVR	1	44	44	15,3	1
Ost 4.8	CASTOR <sup>®</sup> THTR/AVR/MTR 2	1	48	48	15,3	1
Ost 4.9	CASTOR <sup>®</sup> KNK/MTR 2/	1	37	37	15,3	1
Ost 5	POLLUX <sup>®</sup> -10	10	28	280	36	2,63
Ost 6	POLLUX <sup>®</sup> -10	10	28	280	36	2,63
Ost 7	POLLUX <sup>®</sup> -10	10	28	280	36	2,63
Ost 8	POLLUX <sup>®</sup> -10	10	28	280	36	2,63
Ost 9	POLLUX <sup>®</sup> -10	7	20	140	36	2,63
Ost 10	POLLUX <sup>®</sup> -10			125		
Ost 10.1-10.6	POLLUX <sup>®</sup> -10	6	20	120	36	2,63
Ost 10.7	POLLUX <sup>®</sup> -10	1	5	5	36	2,63
Ost 11	POLLUX <sup>®</sup> -10			135		
Ost 11.1-11.3	POLLUX <sup>®</sup> -10	3	28	84	36	2,63
Ost 11.4	POLLUX <sup>®</sup> -10	1	25	25	36	2,63

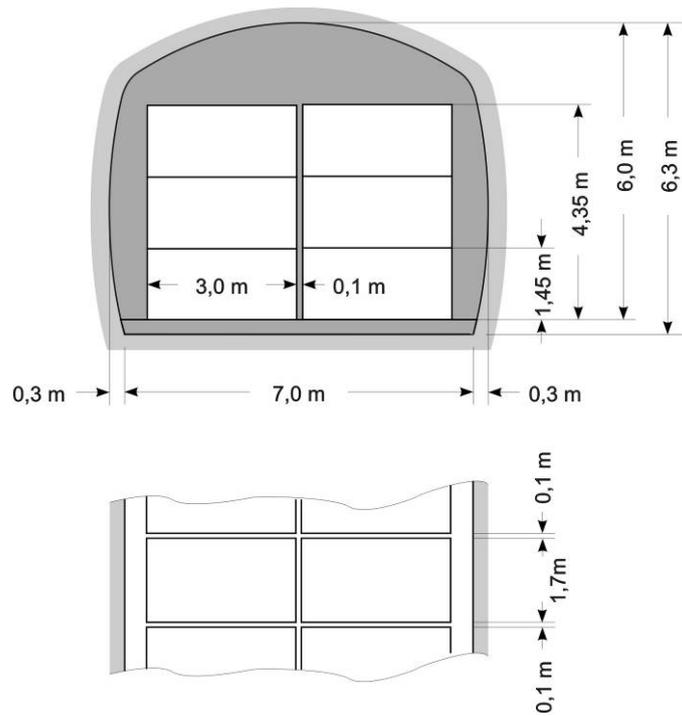
Einlagerungs- feld-Nr.	Endlager- behälter	Anzahl Einlage- rungs- strecken	Anzahl Endlager- behälter pro Strecke	Gesamt- anzahl Endlager- behälter	Strecken- abstand  [m]	Behälter- abstand in Strecken- achse  [m]
Ost 11.5	POLLUX <sup>®</sup> -10	1	16	16	36	2,63
Ost 11.6	POLLUX <sup>®</sup> -10	1	10	10	36	2,63
Ost 12	POLLUX <sup>®</sup> -10			248		
Ost 12.1-12.8	POLLUX <sup>®</sup> -10	8	28	224	36	2,63
Ost 12.9	POLLUX <sup>®</sup> -10	1	24	24	36	2,63
Ost 13	POLLUX <sup>®</sup> -10	10	28	280	36	2,63
Ost 14	POLLUX <sup>®</sup> -10			274		
Ost 14.1	POLLUX <sup>®</sup> -10	1	8	8	36	2,63
Ost 14.2	POLLUX <sup>®</sup> -10	1	18	18	36	2,63
Ost 14.3	POLLUX <sup>®</sup> -10	1	26	26	36	2,63
Ost 14.4	POLLUX <sup>®</sup> -10	1	25	25	36	2,63
Ost 14.5	POLLUX <sup>®</sup> -10	1	24	24	36	2,63
Ost 14.6	POLLUX <sup>®</sup> -10	1	22	22	36	2,63
Ost 14.7	POLLUX <sup>®</sup> -10	1	22	22	36	2,63
Ost 14.8	POLLUX <sup>®</sup> -10	1	21	21	36	2,63
Ost 14.9	POLLUX <sup>®</sup> -10	1	20	20	36	2,63
Ost 14.10	POLLUX <sup>®</sup> -10	1	19	19	36	2,63
Ost 14.11	POLLUX <sup>®</sup> -10	1	18	18	36	2,63
Ost 14.12	POLLUX <sup>®</sup> -10	1	17	17	36	2,63
Ost 14.13	POLLUX <sup>®</sup> -10	1	16	16	36	2,63
Ost 14.14	POLLUX <sup>®</sup> -10	1	14	14	36	2,63
Ost 14.15	POLLUX <sup>®</sup> -10	1	4	4	36	2,63
Ost 15	POLLUX <sup>®</sup> -10			468		
Ost 15.1- 15.16	POLLUX <sup>®</sup> -10	16	28	448	36	2,63
Ost 15.17	POLLUX <sup>®</sup> -10	1	20	20	36	2,63
Ost 16	POLLUX <sup>®</sup> -10	8	28	224	36	2,63
Ost 17	POLLUX <sup>®</sup> -10			38		
Ost 17.1	POLLUX <sup>®</sup> -10	1	28	28	36	2,63
Ost 17.2	POLLUX <sup>®</sup> -10	1	10	10	36	2,63

POLLUX-9 = POLLUX-Behälter für 9 CSD-V (HAW-Kokillen)

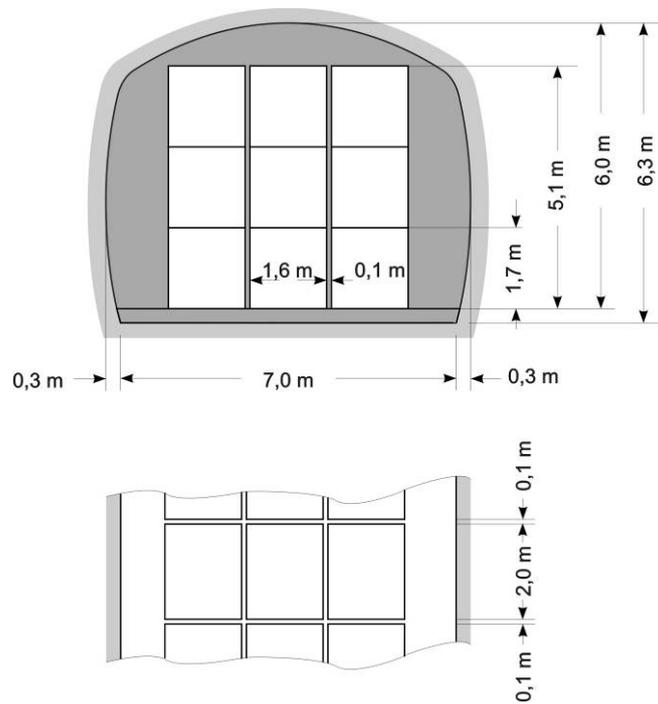
POLLUX-10 = POLLUX-Behälter mit den gezogenen Brennstäben ausgedienter Brennelemente aus DWR, SWR und WWER

POLLUX-CSD-B/-C = POLLUX-Behälter mit 9 CSD-B oder 9 CSD-C

Im ersten Ansatz wurden für die Kammerlagerung von radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung Konrad-Container der Typen IV und VI gewählt. In den Abb. 4.6 und Abb. 4.7 sind Kammerbelegungen mit diesen Containern dargestellt. Diese Belegungen bilden die Basis für die Streckenlängen- und die Hohlraumermittlung der Felder West 1 bis West 3.



**Abb. 4.6** Profil und Draufsicht der befüllten Einlagerungskammer (Container-Typ IV)



**Abb. 4.7** Profil und Draufsicht der befüllten Einlagerungskammer (Container-Typ VI)

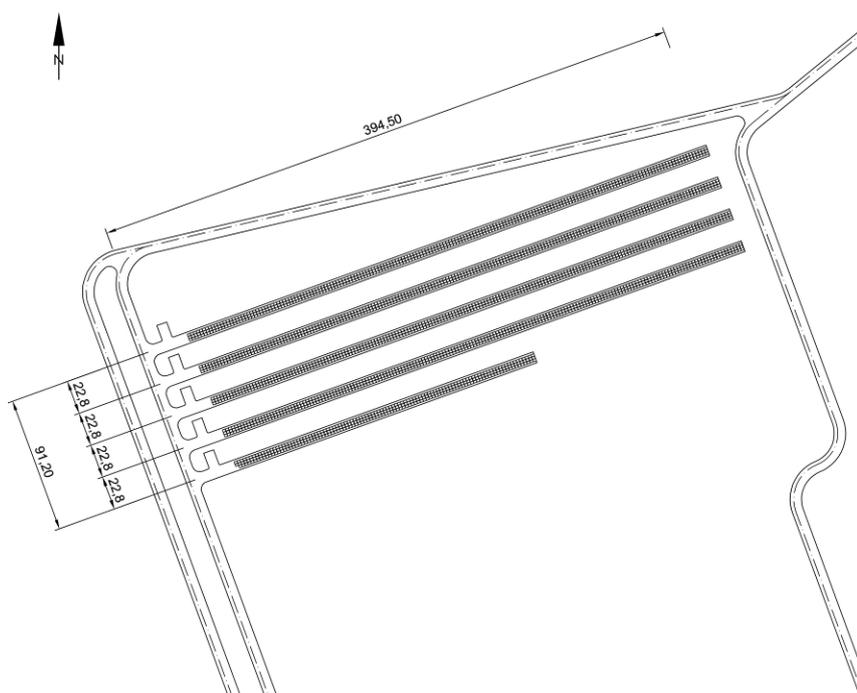
## Einlagerungsfelder für Container-Typ IV und Container-Typ VI

Da in den Westfeldern nur radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung eingelagert werden, sind die Abstände der Kammern und die Abstände der Gebinde zueinander unter berg- und einlagerungstechnischen Gesichtspunkten zu wählen. Der Kammerabstand ergibt sich aus der notwendigen Parkposition (Nische) für den Gabelstapler beim Einstapeln der Gebinde mit 22,8 m und der Abstand der Gebinde zueinander mit 0,1 m (Tab. 4.6). Die Ausbildung der Nische ist gebirgsmechanisch bei der endgültigen Planung zu überprüfen.

**Tab. 4.6** Minimaler Container- und Kammerabstand

Endlagergebilde	Containerabstand [m]	Kammerabstand [m]
Container-Typ IV und Typ VI	0,1	22,8

Auf dieser Grundlage ist in Abb. 4.8 das Einlagerungsfeld West 1 für Container Typ VI mit abgereichertem  $U_3O_8$  beispielhaft dargestellt.



**Abb. 4.8** Einlagerungsfeld mit radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung (Feld-West 1)

Tab. 4.7 gibt die Belegung der Felder und Kammern mit den Containern Typ VI und Typ IV kammergenau wieder.

**Tab. 4.7** Belegung der Einlagerungsfelder

Einlage- rungsfeld- Nr.	Endlager behälter	Anzahl Einlage- rungs- kammern	Anzahl Endlager- behälter pro Kammer	Gesamt- anzahl Endlager- behälter	Kammer- abstand  [m]	Behälter- abstand in Kammer- achse  [m]
West 1	Container Typ VI					
West 1.1-1.4		4	1575	6300	22,8	0,1
West 1.5		1	902	902	22,8	0,1
Summe West 1				7202		
West 2	Container Typ IV					
West 2.1-2.11		11	1068	11748	22,8	0,1
West 2.12		1	752	752	22,8	0,1
Summe West 2				12500		
West 3	Container Typ IV	1	313	313	22,8	0,1

#### 4.2.3 Einlagerungsvariante C, Bohrlochlagerung und Variante A

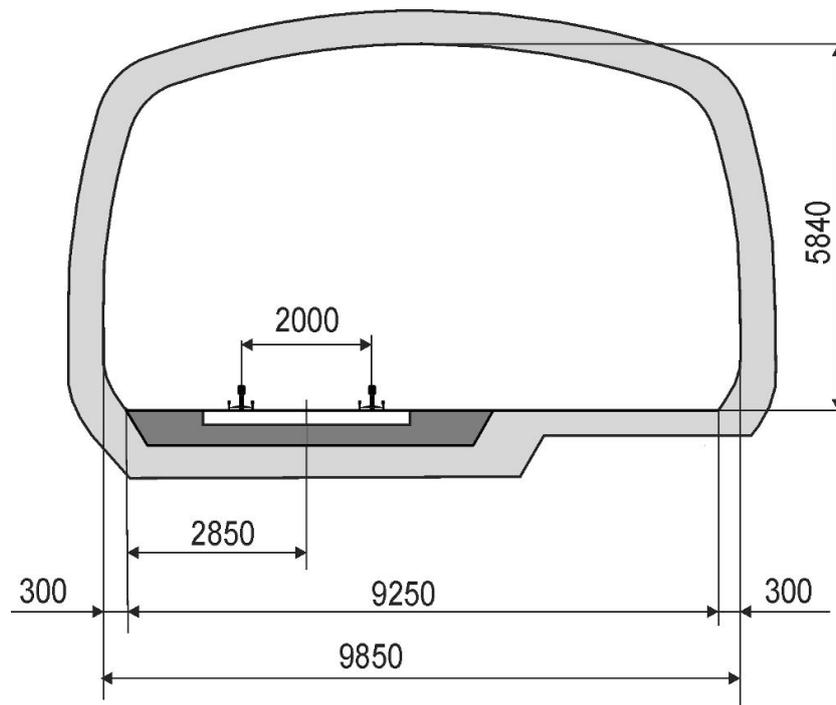
Da die zugehörige Variante A (Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung) bereits im Zusammenhang mit der Variante B1 Streckenlagerung beschrieben ist, wird auf ihre Beschreibung im Folgenden verzichtet. Die im Folgenden beschriebene Konzeption der Bohrlochlagerung (Variante C) wird im Rahmen der VSG nur weiter betrachtet, wenn dafür ein realisierungsfähiges Rückholkonzept entwickelt werden kann. Diese Untersuchungen und Planungen erfolgen in der anschließenden Planungsphase in Arbeitspaket 6 „Endlagerauslegung und Optimierung“.

Die Auffahrung der erforderlichen Einlagerungsfelder wird mit der Erstellung der Richtstrecken und Querschläge für die wärmeentwickelnden Abfälle im Nordosten und für die vernachlässigbar wärmeentwickelnden radioaktiven Abfälle im Südwesten be-

gonnen. Die Querschnitte der nördlichen Richtstrecken und Querschläge hängen von den Lichtraumprofilen der eingesetzten Einlagerungstechnik ab, da der Transport der Einlagerungsvorrichtung maßgebend ist. Auf der Basis der gleisgebundenen Transporttechnik mit einem parallelen Fahrweg ergibt sich ein Streckenprofil (Abb. 4.9) mit einem Querschnitt von ca. 50 m<sup>2</sup>. Die südlichen Richtstrecken für die Vorrichtung der Einlagerungstrecken können analog der Erkundungstrecken (Abb. 4.2) mit einem Querschnitt von ca. 23 m<sup>2</sup> aufgefahren werden.

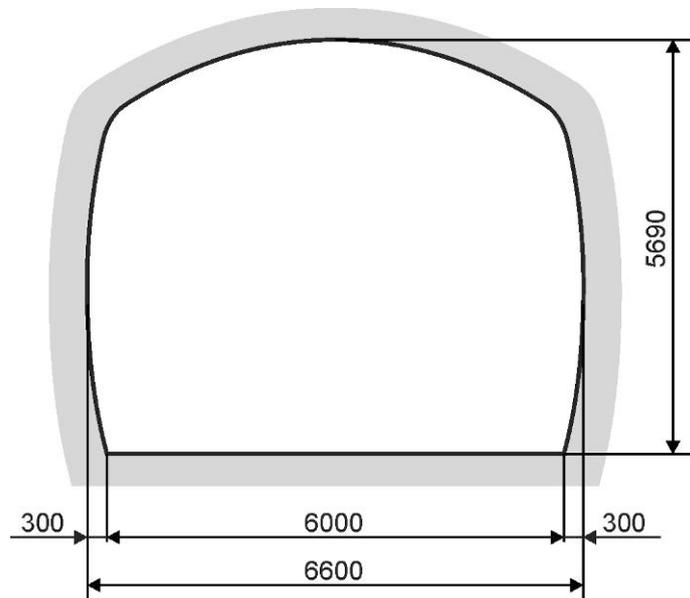
Aus diesen Vorgaben lassen sich das Ausbruchsvolumen auf der Basis der möglichen Ausdehnung der Einlagerungsfelder für die nördlichen und südlichen Richtstrecken sowie der Querschläge während der Errichtungsphase im Bereich mit wärmeentwickelndem und mit vernachlässigbar wärmeentwickelndem radioaktivem Abfall abschätzen.

Nördliche Richtstrecke	ca. 2.920 m x 50 m <sup>2</sup> =	146.000 m <sup>3</sup>
Südliche Richtstrecke	ca. 2.770 m x 23 m <sup>2</sup> =	63.710 m <sup>3</sup>
		<u>209.710 m<sup>3</sup></u>



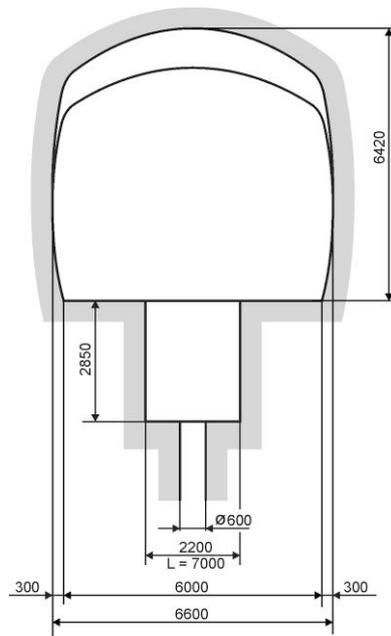
**Abb. 4.9** Profil der Richtstrecke Nord und der Querschläge Variante C Bohrlochlagerung (Angaben in mm)

Das Querschnittprofil der Richtstrecke Süd in der Variante B1 wird unverändert übernommen. Abb. 4.10 zeigt das Profil der Beschickungsstrecken für die Anlieferung der Endlagergebinde. Das Transportgleis wird in die Sohle versenkt.



**Abb. 4.10** Profil der Beschickungsstrecke für Bohrlochlagerung (Angaben in mm)

Für das Profil des Einlagerungsortes (Abb. 4.11) für Brennstabkokillen (BSK), Triple-Packs oder modifizierter BSK wurde bei der Variante C Bohrlochlagerung in Abhängigkeit von der Einlagerungstechnik eine Überhöhung der Firste auf 6,42 m erforderlich. Im Bereich des Bohrortes wird ein Bohrlochkeller mit 2,2 m Breite und 7 m Länge errichtet. Die Tiefe des Kellers richtet sich nach der eingesetzten Bohrtechnik und nach dem erforderlichen Raumbedarf der Einlagerungstechnik. Für die Einlagerung wird im ersten Ansatz für die vorgenannten Kokillen ein 300 m tiefes Bohrloch mit 600 mm Durchmesser projektiert.



**Abb. 4.11** Profil des Einlagerungsortes (Angaben in mm)

In das initiale Arbeitsmodell Gorleben lassen sich im Ostflügel 3 Einlagerungsfelder für Brennstäbe mit wärmeentwickelnden Abfällen einskizzieren (Ost 1 – Ost 3). Im Westflügel ist weiterhin ein Einlagerungsbereich für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung (West 1 – 3) vorgesehen (Abb. 4.12). Die Größe der Einlagerungsfelder für die Streckenlagerung orientiert sich an der Lage der Hauptanhydrit- und Carnallititschichten im Übergangsbereich zwischen dem älteren und dem jüngeren Steinsalz. Zu den Hauptanhydrit- und Carnallititschichten wird ebenfalls ein Sicherheitsabstand von 50 m eingehalten in denen keine Auffahrungen zulässig sind.

In einem Schnitt von Norden nach Süden liegen demgemäß

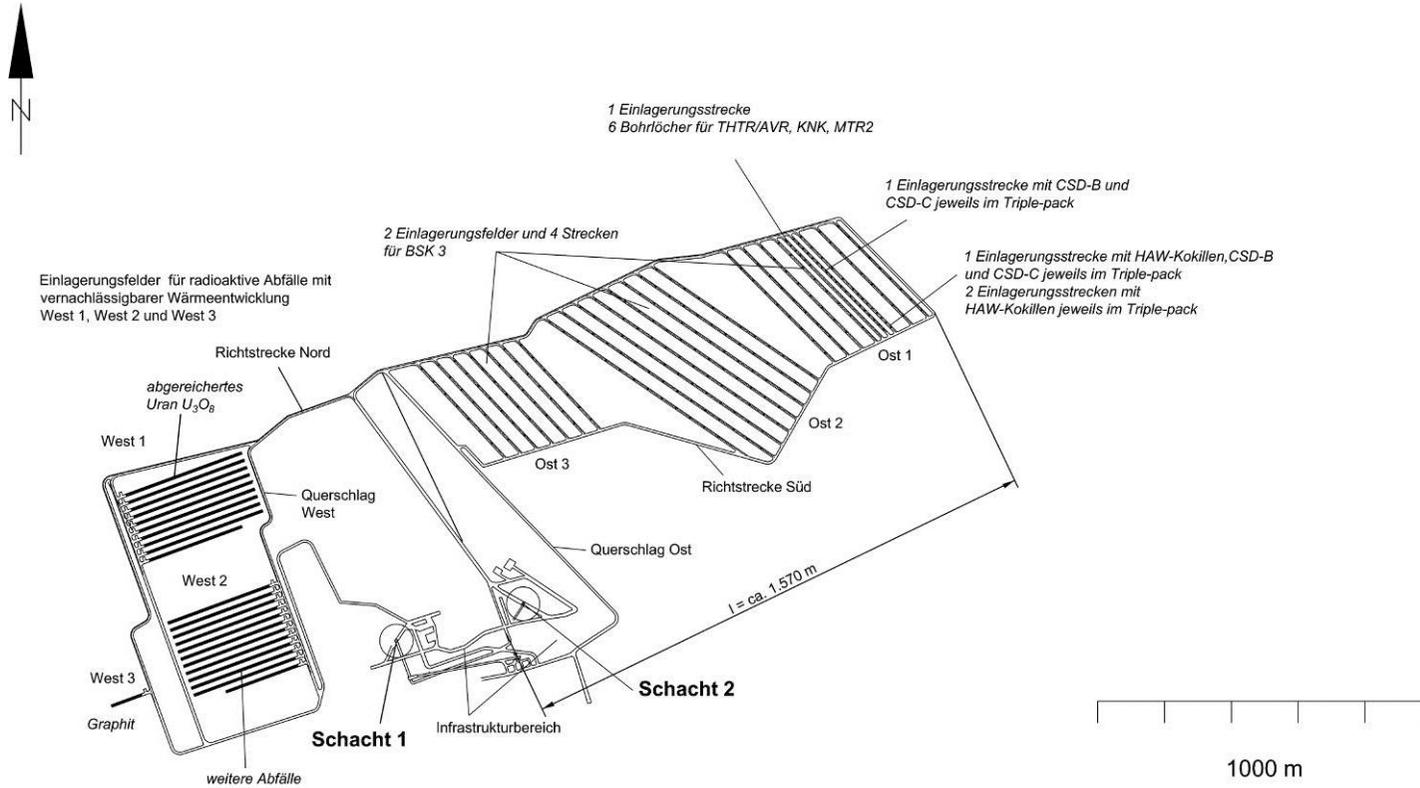
- die nördliche Richtstrecke als Transportstrecke für die Endlagergebäude.
- die Abzweige zu den Querschlägen, die die nördliche Richtstrecke mit der südlichen Richtstrecke verbinden. Die Querschläge sind gleichzeitig auch die Beschickungsstrecken für die einzelnen Einlagerungsorte.

Aufgrund des gewählten Gleistransportes zweigen die Querschläge unter 120° von der Richtstrecke ab.

Folgende Grundsätze wurden bei der Konzeption berücksichtigt

- Die nördliche Richtstrecke und die im Betrieb befindlichen Beschickungsstreckenabschnitte sind Kontrollbereich.

- Die südliche Richtstrecke und die in der Auffahrung befindlichen Einlagerungsstrecken sind dem Überwachungsbereich zuzuordnen.
- Wetter aus dem Kontrollbereich dürfen nicht über den Überwachungsbereich geführt werden.
- Die Einlagerung erfolgt vom entferntesten Einlagerungsfeld in Rückbau zum Schacht.
- Die Einlagerung beginnt mit den bereits bei Einlagerungsbeginn komplett vorliegenden Abfallkategorien im Bereich der wärmeentwickelnden Abfälle.
- Aus dem Überwachungsbereich übergibt der Bergbau immer ein fertiges Einlagerungsbohrloch sobald im Einlagerungsbereich das vorherige befüllt worden ist. Die Grenze Kontrollbereich/Überwachungsbereich verschiebt sich somit um einen Bohrlochabstand.



**Abb. 4.12** Gesamtdarstellung (870 m-Sohle) Variante C: Bohrlochlagerung und Variante A

Für den Ostflügel wurde folgende Einlagerungsreihenfolge als Grundlage der Gesamtdarstellung Variante C berücksichtigt:

- Triple-Pack mit 3 HAW-Kokillen (CSD-V)
- Triple-Pack mit 3 CSD-C oder 3 CSD-B
- modifizierte Brennstabkokillen mit Brennelementen bzw. Brennstäben aus Versuchs- und Prototyp-Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren
- Brennstabkokillen mit den gezogenen Brennstäben ausgedienter Brennelemente aus DWR, SWR und WWER

Variante A im Westflügel wurde unverändert beibehalten.

**Brennstabkokille (BSK) mit den gezogenen Brennstäben ausgedienter Brennelemente aus DWR, SWR und WWER**

Die im Rahmen der Aktualisierung des Konzepts Gorleben /DBE 98/ bei den Temperaturfeldberechnungen ermittelten Bohrlochabstände für die BSK mit 3 DWR-BE in Streckenachse mit 50,6 m und Streckenabstände mit 44 m wurden im ersten Ansatz auch hier verwendet (Tab. 4.8).

**Tab. 4.8** Minimaler Bohrloch- und Streckenabstand für BSK 3

Endlagergebäude	Zwischenlagerzeit [a]	Bohrlochabstand [m]	Streckenabstand [m]
BSK	15	50,6	44

**Triple-Pack mit 3 HAW-Kokillen (CSD-V)**

Bisher sind für mit 3 HAW-Kokillen beladene Triple-Packs noch keine Temperaturfeldberechnungen durchgeführt worden. Im ersten Ansatz wird aufgrund der verringerten Anzahl an HAW-Kokillen im Bohrloch (54 Triple-Packs = 162 HAW-Kokillen < 215 HAW-Kokillen /DBE 98/ pro Bohrloch) und damit einer verringerten Wärmeleistung ausgegangen. Der umgerechnete Bohrlochabstand in der Strecke beträgt 43,9 m bei einem Streckenabstand von 50,5 m (Tab. 4.9).

**Tab. 4.9** Behälter- und Streckenabstand für Triple-Pack mit 3 HAW-Kokillen

Endlagergebäude	Zwischenlagerzeit [a]	Bohrlochabstand [m]	Streckenabstand [m]
Triple-Pack mit 3 HAW-Kokillen	30	43,9	50,5

#### Triple-Pack mit 3 CSD-B/CSD-C pro Behälter

Aufgrund der mit 20 Watt pro CSD-B/CSD-C /DBE 98/ relativ geringen Wärmeproduktion sind für die Konzeption der Bohrlochabstände und der Streckenabstände rein bergbauliche Anforderungen zugrunde gelegt worden. Der Mindestabstand zwischen zwei Bohrlöchern ist von der Genauigkeit der Bohrerstellung und von der eingesetzten Einlagerungstechnik abhängig und wird im ersten Ansatz mit 20 m abgeschätzt. Die Mindestpfeilerbreite zwischen zwei Strecken ist die doppelte Streckenbreite der breitesten Strecke. Somit ergibt sich ein Streckenabstand (Mittelachse Bohrloch) von 20 m (Tab. 4.10)

**Tab. 4.10** Behälter- und Streckenabstand für Triple-Pack mit 3 CSD-B/CSD-C

Endlagerbehälter	Bohrlochabstand [m]	Streckenabstand [m]
Triple-Pack mit 3 CSD-B/CSD-C	20	20

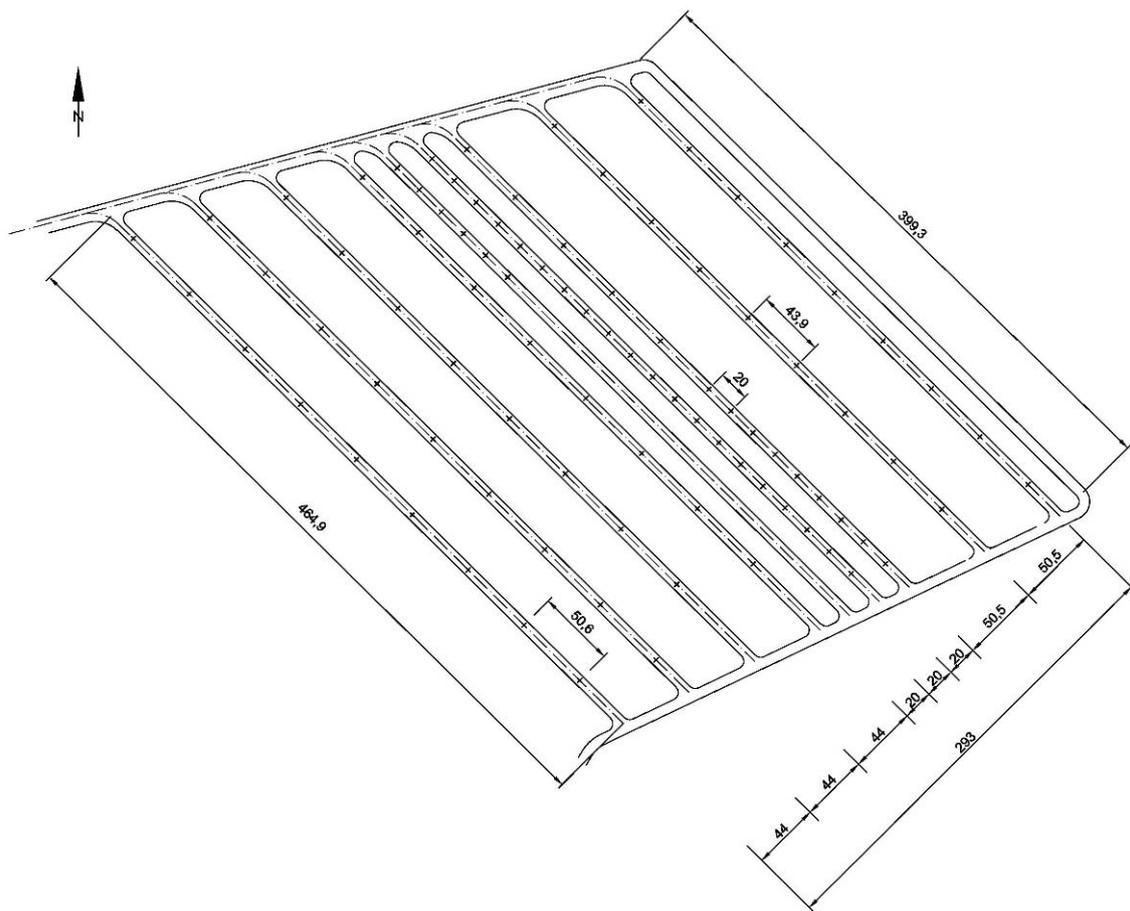
#### Modifizierte Brennstabkokillen (BSK THTR/AVR, BSK KNK, BSK MTR 2)

Für die Brennelemente bzw. Brennstäbe aus den Versuchs- und Prototyp-Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren wurde ebenfalls angenommen, dass diese in modifizierten Brennstabkokillen endgelagert werden. Auch hier gilt aufgrund der relativ geringen Wärmeproduktion, dass für Behälter- und Streckenabstände nur maschinentechnische und bergbauliche Anforderungen zugrunde gelegt wurden. Somit wurden analog zu den Planungen für CSD-B- und CSD-C-Triple-Packs auch ein Bohrlochabstand von 20 m und ein Streckenabstand von 20 m für die Konzeption des Grubengebäudes angesetzt.

**Tab. 4.11** Behälter- und Streckenabstand für modifizierte Brennstabkokillen THTR/AVR, KNK und MTR 2

Endlagerbehälter	Bohrlochabstand [m]	Streckenabstand [m]
BSK THTR/AVR, BSK KNK, BSK MTR 2	20	20

Auf der Grundlage der vorgenannten Festlegungen ist in Abb. 4.13 das Einlagerungsfeld Ost 1 für Triple-Packs mit 3 HAW-Kokillen, Triple-Packs mit 3 CSD-B/CSD-C, Brennstabkokillen mit den gezogenen Brennstäben ausgedienter Brennelemente aus DWR, SWR und WWER (BS) und modifizierten BSK THTR/AVR, BSK KNK und BSK MTR 2 entworfen worden.



**Abb. 4.13** Einlagerungsfeld Ost 1

Tab. 4.12 gibt die Belegung der Felder und Strecken Ost 1 bis Ost 3 mit den Bohrlochendlagergebänden streckengenau wieder.

**Tab. 4.12** Felder mit Einzelstrecken Ost – Variante C Bohrlochlagerung

Einlage- rungs- feld-Nr.	Endlager- behälter	Bohr- löcher	Anzahl Endlager- behälter pro Bohrloch	Gesamt- anzahl Endlager- behälter	Bohr- loch- streck- abstand [m]	Bohrloch- abstand in Strecken- achse [m]
Ost 1						
Ost 1.1-1.2	Triple-Pack 3 HAW-Kokillen	18	54	972	50,5	43,9
Ost 1.3a I-V	Triple-Pack 3 HAW-Kokillen	5	54	270	50,5	43,9
Ost 1.3a VI	Triple-Pack 3 HAW-Kokillen	1	3	3	50,5	43,9
Ost 1.3b	Triple-Pack 3 CSD-B	8	54	432	20,0	20,0
Ost 1.4 I-IXX	Triple-Pack 3 CSD-B und -C	19	54	1.026	20,0	20,0
Ost 1.4 XX	Triple-Pack 3 CSD-B und -C	1	13	13	20,0	20,0
Ost 1.5 I-V	BSK THTR/AVR, MTR 2	5	54	270	20,0	20,0
Ost 1.5 VI	BSK THTR/AVR, MTR 2	1	20	20	20,0	20,0
Ost 1.6-1.7	BSK	16	54	864	44,0	50,6
Ost 1.8-1.9	BSK	18	54	972	44,0	50,6
Ost 2						
Ost 2.1-2.2	BSK	24	54	1.296	44,0	50,6
Ost 2.3-2.4	BSK	26	54	1.404	44,0	50,6
Ost 2.5-2.6	BSK	28	54	1.512	44,0	50,6
Ost 2.7	BSK	15	54	810	44,0	50,6
Ost 2.8	BSK	13	54	702	44,0	50,6
Ost 3						
Ost 3.1-3.6	BSK	42	54	2.268	44,0	50,6
Ost 3.7 I-VI	BSK	6	54	324	44,0	50,6
Ost 3.7 VII	BSK	1	23	23	44,0	50,6

Numerisch = Feld/Strecke  
 Alphabetisch = Abfallsortenteilstrecke  
 Römisch = Bohrlochnummer



## **5 Beschreibung der Transport- und Einlagerungstechnik**

Nachdem in den beiden vorausgegangenen Kapiteln die Tagesanlagen und das Grubengebäude, d. h. alle übertägigen und untertägigen Anlagen und Einrichtungen des Endlagers, vorgestellt wurden, folgt hier eine Darstellung der notwendigen Transport- und Einlagerungstechnik für die Endlagerbehälter. Diese umfasst räumlich den übertägigen Transport, den Transport durch den Schacht 2 nach unter Tage und den untertägigen Transport bis zum Einlagerungsort und die für die jeweilige Variante vorgesehene Einlagerungstechnik. Im Folgenden wird die Transport- und Einlagerungstechnik für die Handhabung der Endlagerbehälter getrennt beschrieben für die Variante B1 (Streckenlagerung), Variante C (Bohrlochlagerung) und Variante A (Kammerlagerung von Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung). Die Beschreibung umfasst die Annahme am Endlager, den innerbetrieblichen Transport bis zum vorgesehenen Einlagerungsort unter Tage und die anschließende Einlagerung. Dabei werden für das initiale Arbeitsmodell die Planungen gemäß Aktualisierung des Konzeptes Endlager Gorleben /DBE 98/ herangezogen. Darüber hinaus werden die Ergebnisse aus dem FuE-Vorhaben „Direkte Endlagerung ausgedienter Brennelemente, Handhabungsversuche zur Streckenlagerung“ /DBE 91/ und dem FuE-Vorhaben „Optimierung der Direkten Endlagerung durch Kokillenlagerung in Bohrlöchern“ /TEC 10/ und die im Rahmen des FuE-Vorhabens ISIBEL /ISI 08/ durchgeführte Bewertung der Transport- und Einlagerungstechniken genutzt. Für die Beschreibung der Transport- und Einlagerungstechnik für die Endlagerbehälter mit Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung werden darüber hinaus die Ergebnisse aus dem FuE-Vorhaben „Direkte Endlagerung ausgedienter Brennelemente, Einlagerungstechnik für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung“ /DBE 95b/ herangezogen und es wird – soweit zutreffend – auf die Beschreibung der Komponenten für das Endlager Konrad zurückgegriffen.

### **5.1 Transport- und Einlagerungstechnik für Endlagerbehälter für Streckenlagerung (Variante B1)**

Für die Auslegung der Komponenten für die Transport- und Einlagerungstechnik im Endlager sind die in Tab. 5.1 dargestellten Daten der Endlagerbehälter für die Streckenlagerung zugrunde gelegt worden.

**Tab. 5.1** Daten der Endlagerbehälter der Variante B1 für die Auslegung der Komponenten für die Transport- und Einlagerungstechnik

	<b>POLLUX®-Behälter</b>	<b>CASTOR® THTR/AVR</b>	<b>CASTOR® KNK</b>	<b>CASTOR® MTR 2</b>
max. Länge	6.000 mm	2.784 mm	2.784 mm	1.631 mm
Tragzapfenabstand	3.700 mm	2.000 mm	1.910 mm	Zapfen nur oben
max. Durchmesser	1.583 mm	1.380 mm	1.380 mm	1.430 mm
Breite über Tragzapfen	2.000 mm	1.625 mm (oben) 1.510 mm (unten)	1.625 mm (oben) 1.510 mm (unten)	1.515 mm
max. Masse	65 Mg	26 Mg	26 Mg	15,8 Mg

### 5.1.1 Komponenten und Transportabläufe über Tage

Tab. 5.2 gibt einen Überblick über die erforderlichen Transport- und Handhabungseinrichtungen für die Handhabung und den übertägigen Transport der Endlagerbehälter für die Streckenlagerung. Daran schließt sich eine Detailbeschreibung der dort aufgeführten Komponenten an.

**Tab. 5.2** Übersicht über die erforderlichen Transport- und Handhabungseinrichtungen für die Endlagerbehälter der Variante B1

<b>Handhabungsschritt</b>	<b>POLLUX®-Behälter</b>	<b>CASTOR® THTR/AVR, CASTOR® KNK, CASTOR® MTR 2</b>
Entfernen Transportschutz	Brückenkran Zusatzhubwerk Tragkraft 200 kN	
Umschlag Endlagerbehälter/ Transferbehälter	Brückenkran Haupthubwerk Tragkraft 750 kN	
Flurtransport in der Umladehalle	Plateauwagen für POLLUX®-Behälter	Plateauwagen für POLLUX®-Behälter mit Aufnahmewangen für Tragzapfen der CASTOR®-Behälter
	Stationär installierte Flurfördereinrichtung für Plateauwagen	

### **5.1.1.1 Brückenkran 750 kN**

Der Brückenkran ist mit zwei Hubwerken ausgerüstet:

- Das Haupthubwerk mit 750 kN Tragkraft dient dem Umladen der Endlagerbehälter, d. h. der POLLUX<sup>®</sup>- und CASTOR<sup>®</sup>-Behälter, auf Plateauwagen.
- Das Zusatzhubwerk mit 200 kN Tragkraft dient der Handhabung des Transportschutzes der Endlagerbehälter.

Das Tragwerk des Brückenkrans besteht aus den beiden Brückenträgern und den beidseitigen Kopfträgern. Auf den Brückenträgern fährt die Katze mit den beiden Hubwerken, wobei das Zusatzhubwerk asymmetrisch zu der Katze auf Höhe einer Kranbrücke angeordnet ist. Bedient wird der Kran von einer Krankabine aus, die mit der Katze verfährt. Beide Hubwerke können für die einzelnen Handhabungsschritte mit den jeweiligen Lastaufnahmemitteln eingerüstet werden:

Lastaufnahmemittel der Haupthubwerke:

- Vier-Punkt-Laschengehänge zum Umladen der liegend angelieferten Endlagerbehälter (POLLUX<sup>®</sup>-Behälter, CASTOR<sup>®</sup> THTR/AVR und CASTOR<sup>®</sup> KNK) auf Plateauwagen
- Zwei-Punkt-Laschengehänge zum Umladen der stehend angelieferten CASTOR<sup>®</sup> MTR 2 auf Plateauwagen

Lastaufnahmemittel der Zusatzhubwerke:

- Anschlagketten (-seile) zur Handhabung des Transportschutzes der Endlagerbehälter

An den Kran werden hinsichtlich seiner sicherheitstechnischen Auslegung erhöhte Anforderungen nach KTA 3902 /KTA 99/ in der Planung und in der Herstellung gestellt.

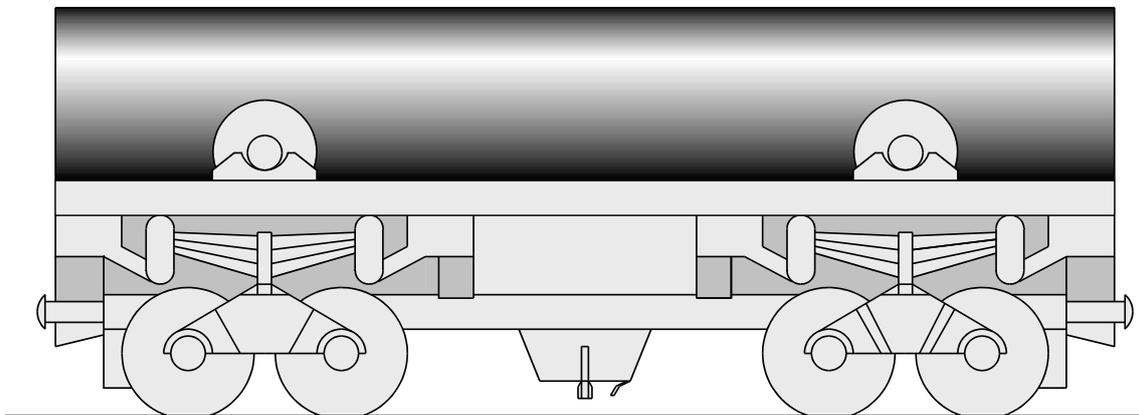
### **5.1.1.2 Plateauwagen für POLLUX<sup>®</sup>-Behälter**

Der in Abb. 5.1 dargestellte 4-achsige Plateauwagen zum innerbetrieblichen Transport von POLLUX<sup>®</sup>-Behältern nach unter Tage wurde im Rahmen des FuE-Programms zur Direkten Endlagerung ausgedienter Brennelement /DBE 95c/ Anfang der 90er Jahre

hergestellt. Die Auslegung des Plateauwagens basierte auf folgenden Randbedingungen:

- max. Geschwindigkeit 10 km/h
- max. Länge, über Puffer 6.300 mm
- max. Breite 2.0
- Höhe, beladen 2.300 mm  
(Angabe mit POLLUX®-Behälter)
- Eigengewicht 7,4 Mg
- Achslast, beladen 18,1 Mg
- Spurweite 1.435 mm
- min. Kurvenradius 20 m

Der Plateauwagen besitzt zur Fortbewegung durch stationär installierte Flurfördereinrichtungen unten am Tragrahmen eine Mitnahmevorrichtung und für Zugfahrzeuge jeweils stirnseitig eine Kupplung.



**Abb. 5.1** Plateauwagen mit POLLUX®-Behälter

Aufgrund einer technischen Weiterentwicklung im Rahmen eines Forschungsvorhabens /TEC 10/ würde ein neuer Plateauwagen mit geringfügig geänderter Konstruktion (Drehschemel) gefertigt werden. Dies hätte auch den Vorteil einer geringeren Bauhöhe und damit ggf. eine leichte Reduzierung der Einlagerungstreckenlänge.

### **5.1.1.3 Plateauwagen für CASTOR® THTR/AVR und CASTOR® KNK**

Für die Endlagerbehälter CASTOR® THTR/AVR und CASTOR® KNK sind die Plateauwagen für POLLUX®-Behälter temporär mit Aufnahmewangen für die Tragzapfen der Behälter zu versehen.

### **5.1.1.4 Plateauwagen für CASTOR® MTR 2**

Da die CASTOR® MTR 2 im Gegensatz zu den POLLUX®-Behältern und CASTOR® THTR/AVR und CASTOR® KNK lediglich über 2 Tragzapfen im oberen Bereich verfügen und aus diesem Grund stehend zu transportieren sind, ist bei der endgültigen Planung zu prüfen, ob der Plateauwagen für POLLUX®-Behälter mit entsprechenden Anpassungsmaßnahmen auch für den innerbetrieblichen Transport der CASTOR® MTR 2 eingesetzt werden kann. Es wird davon ausgegangen, dass dies technisch machbar ist.

### **5.1.1.5 Stationär installierte Flurfördereinrichtung**

Für den Längstransport der Plateauwagen sind in den Gleisen Flurfördereinrichtungen installiert. Sie bestehen jeweils aus einem Seilzugsystem, das einen Mitnehmerwagen treibt, der im Führungskanal innerhalb des Gleises läuft. Die im oberen Bereich des Mitnehmerwagens schwenkbar gelagerte Klinke dient zur Kupplung an den Steg der Mitnahmevorrichtung der Plateauwagen. Die Ansteuerung der Klinken erfolgt über einen Steuerseilantrieb.

Gummigleisbremsen an den Abstellpositionen sichern den Plateauwagen gegen unbeabsichtigtes Wegrollen. Der Quertransport zwischen den einzelnen Gleisen erfolgt über Querverschübe. Jeder Querverschub ist mit einer Aufzieh-/Abschiebevorrichtung ausgerüstet. Diese Aufzieh-/Abschiebevorrichtung kuppelt selbsttätig an der Übergabestelle an den Plateauwagen an und sichert ihn bei allen Transportvorgängen des Querverschubes. Die Übergabestellen vom Gleis zu den Querverschüben werden durch Gleissperren gesichert.

#### **5.1.1.6 Transportabläufe über Tage**

Die Anlieferung der Endlagerbehälter an das Endlager erfolgt per Bahn bzw. per LKW entweder von der übertägigen Konditionierungsanlage (POLLUX<sup>®</sup>-Behälter) oder direkt von den Ablieferungspflichtigen (CASTOR<sup>®</sup> THTR/AVR, CASTOR<sup>®</sup> KNK, CASTOR<sup>®</sup> MTR 2). Auf dem Endlagergelände werden die Anlieferfahrzeuge mit den Endlagerbehältern erforderlichenfalls getrocknet und es erfolgen orientierende Ortsdosisleistungsmessungen.

Das Entfernen des Transportschutzes erfolgt in der Entladehalle mit dem Zusatzhubwerk des Brückenkrans. Als Lastaufnahmemittel werden Anschlagketten (-seile) eingesetzt.

Die Entladung der Endlagerbehälter erfolgt in der Entladehalle mit dem Haupthubwerk des Brückenkrans. Als Lastaufnahmemittel werden Vier-Punkt-Laschengehänge für POLLUX<sup>®</sup>-Behälter, CASTOR<sup>®</sup> THTR/AVR und CASTOR<sup>®</sup> KNK eingesetzt. Bei CASTOR<sup>®</sup> MTR 2 kommen Zwei-Punkt-Laschengehänge zum Einsatz.

Die Endlagerbehälter werden mit dem Brückenkran in den Übergabebereich transportiert, wo im Rahmen der Eingangskontrolle Strahlenschutzmessungen durchgeführt werden. Nach der Freimessung erfolgt der Transport mit dem Brückenkran in den Transportbereich der Bereitstellungs- und Transporthalle zur Einlagerung. Im Falle einer übertägigen Pufferung werden die Endlagerbehälter mit dem Brückenkran von der Entladehalle in die Pufferhalle transportiert und abgestellt. Nach der Pufferung werden die Endlagerbehälter mit dem Brückenkran aus der Pufferhalle über die Entladehalle und den Übergabebereich in den Transportbereich der Bereitstellungs- und Transporthalle transportiert.

In der Bereitstellungs- und Transporthalle werden alle Endlagerbehälter auf innerbetriebliche Plateauwagen umgeladen und mit der stationär installierten Flurfördereinrichtung per Gleis in die Schachthalle oder, bei Erfordernis, in die Sonderbehandlung transportiert.

Aus der Bereitstellungs- und Transporthalle führen zwei Gleise in die Schachthalle. Der Transportweg der beladenen Plateauwagen verläuft über ein Gleis aus der Bereitstellungs- und Transporthalle bis zum Querverschub auf der Zulaufseite der Schachthalle

und vom Querverschub weiter durch die Schachtschleuse bis zur Schachtförderanlage. (s. Abb. 5.2).

Der Transport der Endlagerbehälter auf Plateauwagen nach unter Tage sowie der entladenen Transportmittel von unter nach über Tage erfolgt über die Hauptseilfahrtanlage des Schachtes 2. Der Schachtdurchmesser ermöglicht den Betrieb eines Fördergestelles, das durch seine Größe einen mit einem Endlagerbehälter (POLLUX<sup>®</sup>-Behälter, CASTOR<sup>®</sup> THTR/AVR, CASTOR<sup>®</sup> KNK, CASTOR<sup>®</sup> MTR 2) beladenen Plateauwagen aufnehmen kann.

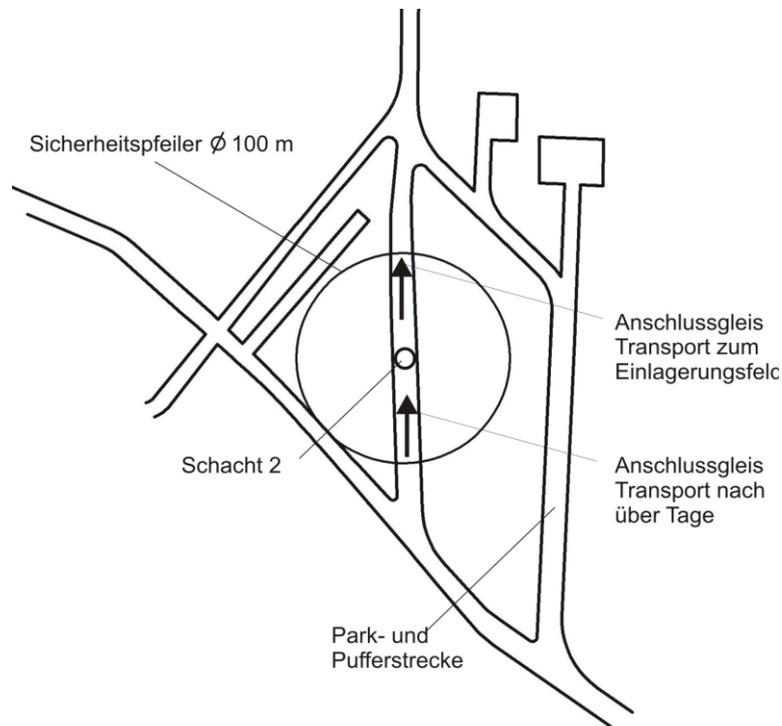
Der beladene Plateauwagen wird auf der Zulaufseite über Schachtschleusen mittels der Schachtbeschickungsanlage auf das Fördergestell geschoben. Auf der Ablaufseite wird der leere Plateauwagen bzw. der mit einem leeren Transferbehälter, leeren Tausch- und Transportpaletten oder Behältern mit betrieblichen Abfällen beladene Plateauwagen vom Fördergestell abgezogen und über die Schachtschleuse in den Transportbereich der Umschlagsanlage transportiert.

Bei der Schachtbeschickung fährt ein Kupplungswagen auf den Gleisen in einem Führungskanal über einen teleskopartig wirkenden Antriebsschlitten bis in das Fördergestell. Der Kupplungswagen erfasst den Plateauwagen über den Steg der Mitnahmevorrichtung. Neben dem inneren Schleusentor, das als Schachtsperre ausgelegt ist, befinden sich in beiden Anschlussgleisen des Fördergestells Gleissperren. Beide Sicherungseinrichtungen bilden eine redundant und diversitär wirkende Sperre vor ungewollten Plateauwagenbewegungen zum Schacht.

### **5.1.2 Komponenten und Transportabläufe unter Tage**

Im Füllort auf der 870 m Sohle muss aus bergbausicherheitstechnischen Gründen ein Sicherheitspfeiler von 100 m Durchmesser um den Schacht von zusätzlichen Grubenbauen freigehalten werden. Eine direkte Umfahrung des Schachtes wie über Tage ist somit nicht möglich. Um die thermomechanischen Auswirkungen aus dem Endlagerbergwerk auf den Schacht zu begrenzen, ist ein zweiter Sicherheitspfeiler von 300 m Durchmesser eingerichtet worden, in den keine wärmeentwickelnden Abfälle eingelagert werden dürfen /DBE 93/. Die Abb. 5.2 zeigt den Füllort und den schachtnahen Bereich.

Der beladene Plateauwagen wird stattdessen mit der Schachtbeschickungsanlage an der Übergabestelle zum Anschlussgleis bereitgestellt. Mit einer stationär installierten Flurfördereinrichtung folgt der Weitertransport in das Anschlussgleis und die dortige Bereitstellung zum Abtransport in das Einlagerungsfeld.



**Abb. 5.2** Füllort und schachtnaher Bereich

### 5.1.2.1 Batterie-Lokomotive

Für den Transport der mit Endlagerbehältern beladenen Plateauwagen vom Füllort zum vorgesehenen Einlagerungsort soll eine Batterie-Lokomotive zum Einsatz kommen. Eine solche wurde im Rahmen des FuE-Programms zur Direkten Endlagerung ausgedienter Brennelemente /DBE 95c/ und für übertägige Demonstrationsversuche erfolgreich eingesetzt. Insofern ist eine solche Lokomotive auch hier vorgesehen.

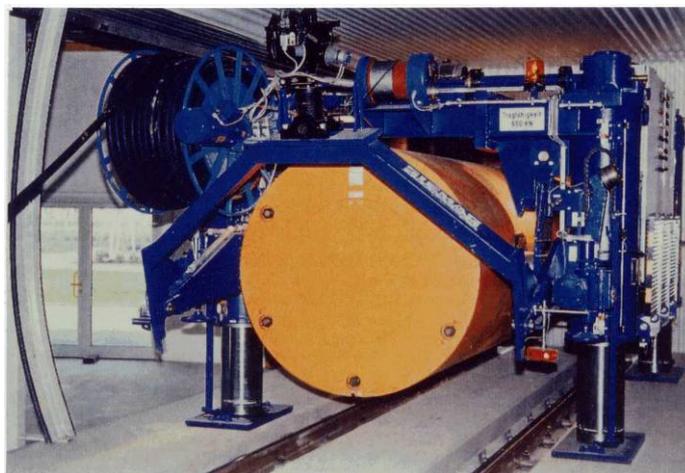
Die Batterie-Lokomotive ist als Gliederlok ausgelegt. Für den Transport eines Plateauwagens mit einem POLLUX®-Behälter besteht die Lokomotive aus zwei Führerhäusern und einem Energieteil. Zur Erhöhung der Leistung können bis zu fünf Energieteile aneinander gekuppelt werden. Für die Erprobung über Tage wurde die Lokomotive mit einem Führerhaus und einem Energieteil (s. Abb. 5.3) betrieben. Die Lokomotive ist für eine Spurweite von 1.435 mm im söhligem Grubengebäude ausgelegt.



**Abb. 5.3** Batterie-Lokomotive

#### **5.1.2.2 Einlagerungsvorrichtung für POLLUX®-Behälter**

Mit Hilfe einer Einlagerungsvorrichtung (s. Abb. 5.4) wird der am Einlagerungsort auf dem Plateauwagen bereit gestellte POLLUX®-Behälter vom Plateauwagen abgehoben und nach Zurückziehen des Plateauwagens auf der Streckensohle abgelegt. Der Prototyp einer solchen Einlagerungsvorrichtung wurde im Rahmen des FuE-Programms zur Direkten Endlagerung ausgedienter Brennelemente /DBE 95c/ hergestellt und im Dauereinsatz erprobt.



**Abb. 5.4** Einlagerungsvorrichtung mit POLLUX®-Behälter

Die Kenndaten der Einlagerungsvorrichtung für POLLUX®-Behälter sind:

- Länge
  - Deichsel gesenkt 7.876 mm
  - Deichsel angehoben 6.400 mm
- Breite 3.200 mm
- Höhe, ab OK Schiene
  - höchste Hubstellung 3.290 mm
  - bei Transport auf Plateauwagen 2.500 mm
- Hubweg der Teleskopstützen 1.120 mm
- Hubkraft einer Teleskopstütze 500 kN
- Transportgeschwindigkeit:
  - auf eigenem Fahrwerk 0,72 km/h  
(0,2 m/s)
  - auf Plateauwagen 10 km/h
- Gewicht 15,2 Mg

Die Einlagerungsvorrichtung ist portalartig aufgebaut. Die Eckstiele des Portals sind mit Teleskopstützen versehen. Hubbewegungen der Teleskopstützen zum Aufnehmen und Ablegen der Last erfolgen über einen elektromotorischen Antrieb mit nachgeschaltetem Spindeltrieb.

Zur Aufnahme des POLLUX®-Behälters sind an den Querträgern des Portals vier schwenkbar gelagerte Hängelaschen vorgesehen. Zur Lastsicherung werden die Tragzapfenaufnahmen mit einer Schlüssellochkontur ausgebildet.

Auf Höhe der unteren Längsverstrebung sind front- und heckseitig die Hilfsfahrwerke mit Schienenrädern angeordnet, die das Zurückziehen der Einlagerungsvorrichtung nach erfolgtem Ablegen des POLLUX®-Behälters ermöglichen. Die Schienenräder befinden sich an Schwenkarmen, die für Fahrbewegungen über elektrisch getriebene Stelleinheiten zum Gleis abgeschwenkt werden. Die Lastübernahme der Schienenräder zum Verfahren der Einlagerungsvorrichtung erfolgt dann durch Einfahren der Stützfüße.

Frontseitig ist am Portal eine Zugdeichsel angelenkt, die während des Einlagerungsvorganges elektromotorisch hochschwenkt und für das Ankuppeln an den Plateauwagen heruntergeschwenkt wird.

Die elektrische Energie wird der Einlagerungsvorrichtung von einer Unterverteilerstation in der Einlagerungsstrecke über ein Kabel zugeführt. Das Kabel läuft auf eine Kabeltrommel auf und von dort führen Leitungen zu den Leistungsschaltteilen in den beiderseits der Einlagerungsvorrichtung integrierten Schaltschränken. Zur Steuerung der Einlagerungsvorrichtung ist eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) vorgesehen, die mit weiteren Schaltelementen in den Schaltschränken installiert ist. Bedient wird die Einlagerungsvorrichtung über Funk von der Batterie-Lokomotive aus.

#### **5.1.2.3 Einlagerungsvorrichtung für CASTOR® THTR/AVR und CASTOR® KNK**

Für die Endlagerbehälter CASTOR® THTR/AVR und CASTOR® KNK sind die Traglaschen der Einlagerungsvorrichtung für POLLUX®-Behälter temporär mit einem Adapter für die Tragzapfen der Behälter zu versehen.

#### **5.1.2.4 Einlagerungsvorrichtung für CASTOR® MTR 2**

Es ist bei der endgültigen Planung zu prüfen, ob mit Hilfe der Einlagerungsvorrichtung für POLLUX®-Behälter mit entsprechenden Anpassungsmaßnahmen auch der am Einlagerungsort auf dem Plateauwagen bereit gestellte CASTOR® MTR 2 vom Plateauwagen abgehoben und nach Zurückziehen des Plateauwagens auf der Streckensohle abgestellt werden kann. Es wird als technisch machbar eingeschätzt, ist aber im Detail zu untersuchen.

#### **5.1.2.5 Transportabläufe unter Tage**

Der mit einem Endlagerbehälter beladene Plateauwagen wird mit der Batterie-Lokomotive in die Einlagerungsstrecke zur vorgesehenen Ablagestelle befördert. Dort ist die Einlagerungsvorrichtung positioniert. Der Plateauwagen fährt in das Portal der Einlagerungsvorrichtung, der Endlagerbehälter wird aufgenommen, der Plateauwagen aus der Einlagerungsvorrichtung gezogen und der Endlagerbehälter auf die Strecken-

sohle abgelegt bzw. abgestellt. Die weiteren Transportabläufe unter Tage erfolgen wie in Kapitel 5.1.1.6 beschrieben.

Im Anschluss an die Einlagerung eines jeden Endlagerbehälters wird die Einlagerungsvorrichtung in die nächste Einlagerungsstrecke befördert. Dieser Wechselvorgang erfolgt in zwei Transportschritten:

1. Zurückziehen der Einlagerungsvorrichtung vom eingelagerten Endlagerbehälter auf den Schienenrädern des Hilfsfahrwerkes der Einlagerungsvorrichtung in den freien Bereich vor dem abgelegten Endlagerbehälter. Dazu wird die Einlagerungsvorrichtung an den soeben entladenen Plateauwagen angekuppelt und mit Hilfe der Batterie-Lokomotive gezogen.
2. Für den Gleisweg in eine andere Einlagerungsstrecke mit dem Passieren von Weichen und Kurven ist das Hilfsfahrwerk nicht ausgelegt. Für diesen Transport unterfährt der Plateauwagen die Einlagerungsvorrichtung, übernimmt diese durch Aufsetzen und befördert sie in die nächste Einlagerungsstrecke.

Anschließend befördert die Batterie-Lokomotive den entladenen Plateauwagen zum Förderschacht.

Der Hohlraum zwischen dem auf der Einlagerungssohle abgelegten POLLUX<sup>®</sup>-Behälter und den Streckenwänden wird direkt nach dem Abtransport der Einlagerungsvorrichtung mit Salzgrus versetzt. Dieser Vorgang erfolgt parallel zur Einlagerung in der nächsten Strecke.

## **5.2 Transport- und Einlagerungstechnik für Endlagerbehälter für Bohrlochlagerung (Variante C)**

In diesem Kapitel wird die Technik für den Transport und die Einlagerung von Endlagerbehältern für die Bohrlochlagerung beschrieben. Dabei wird davon ausgegangen, dass alle wärmeentwickelnden radioaktiven Abfälle entweder in Brennstabkokillen oder Triple-Packs konditioniert sind (s. Kapitel 2).

## **5.2.1 Komponenten und Transportabläufe über Tage**

Für den Transport von Brennstabkokille und Triple-Pack wird ein sogenannter Transferbehälter vorgesehen. Die Anlieferung der Transferbehälter (jeweils beladen mit einer Brennstabkokille oder einem Triple-Pack) an das Endlager erfolgt von der übertägigen Konditionierungsanlage schienengebunden innerbetrieblich auf Plateauwagen.

Die Einrichtungen für die Handhabung und den übertägigen Transport der Transferbehälter entsprechen im Wesentlichen den Transport- und Handhabungseinrichtungen der Endlagerbehälter für die Streckenlagerung (s. Kapitel 5.1.1, Tab. 5.2).

### **5.2.1.1 Brückenkran 750 kN**

Der Brückenkran (s. Kapitel 5.1.1.1) kommt nur bei Betriebsstörungen zum Einsatz. Die Handhabung der Transferbehälter erfolgt dann mit dem Haupthubwerk des Brückenkrans. Als Lastaufnahmemittel kommen Vier-Punkt-Laschengehänge zum Einsatz.

### **5.2.1.2 Transferbehälter für Brennstabkokillen und Triple-Packs**

Der Prototyp des in Abb. 5.5 dargestellten Transferbehälters für Brennstabkokillen und Triple-Packs wurde im Rahmen des FuE-Vorhabens „Optimierung der Direkten Endlagerung durch Kokillenlagerung in Bohrlöchern“ /TEC 10/ entwickelt, hergestellt und erprobt.

Der Behälterkörper des Transferbehälters besteht aus einem dickwandigen Hohlzylinder aus Gusseisen mit Kugelgraphit (GJS). Die Wanddicke und der Wandaufbau des Behälterkörpers sind entsprechend den Anforderungen an die mechanische Festigkeit, an den Brandfall sowie an die Gamma- und Neutronenabschirmung gestaltet. In der Behälterwand befinden sich zwei Bohrungsreihen auf unterschiedlichen Teilkreisen, die mit Polyethylenstäben zur Verringerung der Neutronendosisleistung gefüllt sind. Die Neutronenabschirmung im Boden- und Deckelbereich wird jeweils durch Polyethylenplatten gewährleistet. Durch konstruktive Maßnahmen werden direkte Strahlendurchgänge vermieden. Der Behälterkörper schließt beidseitig (fuß- und kopfseitig) mit Behälterschleusen ab, die hinsichtlich der Geometrie und des Verschlusssystems baugleich ausgeführt sind. Die Schleusenkörper sind in Edelstahl ausgeführt und mit dem Behälterkörper verschraubt. Die in den Schleusenkörpern eingesetzten Flach-

schieber arbeiten nach dem Prinzip der Schubladentechnik und werden in Gleitschienen geführt. Der Flachschieber ist in geschlossener Stellung durch zwei in den Seitenwänden eingelassene Verriegelungsbolzen gesichert.



**Abb. 5.5** Transferbehälter für Brennstabkokillen und Triple-Packs

**Technische Daten des Transferbehälters:**

– Länge Transferbehälter	5.570 mm
– Tragzapfenabstand	3.700 mm
– Durchmesser (Behälterkörper)	1.305 mm
– Höhe (Behälterschleusen)	1.885 mm
– Masse (beladen)	52 Mg

Der Transferbehälter hat keine eigenen Stelleinheiten zum Entriegeln und Betätigen der Flachschieber. Öffnungs- und Schließvorgänge des Behälters werden bodenseitig mit Stelleinheiten der Bohrlochschleuse und deckelseitig mit denen der Einlagerungsvorrichtung (Abschirmhaube) ausgeführt. Dazu werden die Öffnungsbolzen der Bohrlochschleuse und der Stelleinheit der Abschirmhaube bei den Aufsetzvorgängen (Transferbehälter in Bohrlochschleuse oder Abschirmhaube auf Transferbehälter) in entsprechenden Öffnungen der Flachschieber eingeführt und entriegeln diese. Fußseitig sind die Öffnungsbolzen der Bohrlochschleuse Teil des Bohrlochschiebers und

kopfseitig Teil der Abschirmhaube. Mit dem Öffnen des Bohrloches und der Abschirmhaube erfolgt gleichzeitig das Öffnen des Transferbehälters.

Zur Handhabung des Transferbehälters befinden sich am Behälterkörper vier Tragzapfen. Die zylinderförmigen Tragzapfen haben neben dem Bund, der als Transportauflage dient, einen weiteren, abgesetzten Bund zum Anschlagen eines Hebezeuges und zur Aufnahme durch die Einlagerungsvorrichtung.

### 5.2.1.3 Plateauwagen für Transferbehälter

Der in Abb. 5.6 dargestellte Prototyp eines 4-achsigen Plateauwagens zum innerbetrieblichen Transport von Transferbehältern nach unter Tage wurde ebenfalls im Rahmen des FuE-Vorhabens „Optimierung der Direkten Endlagerung durch Kokillenlagerung in Bohrlöchern“ /TEC 10/ entwickelt, hergestellt und erprobt.



**Abb. 5.6** Plateauwagen mit Transferbehälter

Die Auslegung des Plateauwagens basierte auf folgenden Randbedingungen:

- max. Geschwindigkeit 10 km/h
- max. Länge, über Puffer 6.150 mm
- max. Breite 2.200 mm
- Höhe, unbeladen 1.400 mm

– Höhe, beladen (Angabe ohne Transferbehälter)	1.380 mm
– Eigengewicht	10 Mg
– Spurweite	1.990 mm
– min. Kurvenradius	25 m

Der Plateauwagen besitzt zur Fortbewegung durch stationär installierte Flurfördereinrichtungen unten am Tragrahmen eine Mitnahmevorrichtung und für Zugfahrzeuge jeweils stirnseitig eine Kupplung.

#### **5.2.1.4 Stationär installierte Flurfördereinrichtung**

Die übertägige Beförderung der Transferbehälter auf Plateauwagen erfolgt mit der in Kapitel 5.1.1.5 beschriebenen stationär installierten Flurfördereinrichtung.

#### **5.2.1.5 Transportabläufe über Tage**

Die Anlieferung der Transferbehälter (jeweils beladen mit einer Brennstabkokille oder einem Triple-Pack) erfolgt von der übertägigen Konditionierungsanlage auf Plateauwagen auf dem Schienenweg an das Endlager. In der Bereitstellungs- und Transporthalle werden die Plateauwagen mit der stationär installierten Flurfördereinrichtung per Gleis in die Schachthalle oder, bei Erfordernis, in die Sonderbehandlung transportiert. Die weiteren Transportabläufe über Tage erfolgen weitestgehend wie in Kapitel 5.1.1.6 beschrieben.

#### **5.2.2 Komponenten und Transportabläufe unter Tage**

Die Bereitstellung der Endlagerbehälter im Füllort zum Abtransport in das Einlagerungsfeld erfolgt wie in Kapitel 5.1.2 beschrieben.

### 5.2.2.1 Batterie-Lokomotive

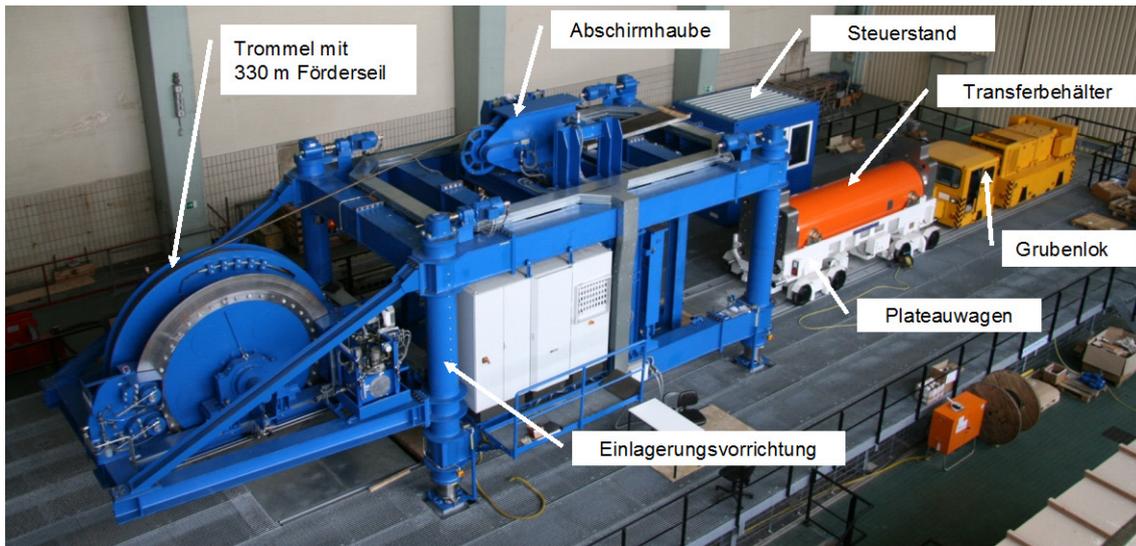
Bei einer Einlagerung der wärmeentwickelnden radioaktiven Abfälle in Brennstabkokillen bzw. Triple-Packs ist der Einsatz einer Batterie-Lokomotive vorgesehen – ähnlich wie in Kapitel 5.1.2.1 beschrieben – jedoch mit einer größeren Spurweite von 1.990 mm zur Überquerung des Bohrlochkellers.

### 5.2.2.2 Einlagerungsvorrichtung für Brennstabkokillen und Triple-Packs

Die Einlagerungsvorrichtung (s. Abb. 5.7) ist mit allen Handhabungseinrichtungen zur Übernahme des Transferbehälters vom Plateauwagen und zum Einlagern der Brennstabkokillen und Triple-Packs in das Bohrloch ausgerüstet. Sie wurde ebenfalls im Rahmen des FuE-Vorhabens „Optimierung der Direkten Endlagerung durch Kokillenlagerung in Bohrlöchern“ /TEC 10/ hergestellt.

Die Kenndaten der Einlagerungsvorrichtung für Brennstabkokillen und Triple-Packs sind:

– Länge	12.100 mm
– Breite	4.700 mm
– Höhe, beim Drehvorgang des Transferbehälters	6.190 mm
– Höhe, Transportstellung	5.190 mm
– Gesamtmasse	67 Mg



**Abb. 5.7** Einlagerungsvorrichtung für Brennstabkokillen und Triple-Packs, hier: Demonstrationsanlage zur Erprobung der Einlagerungstechnik

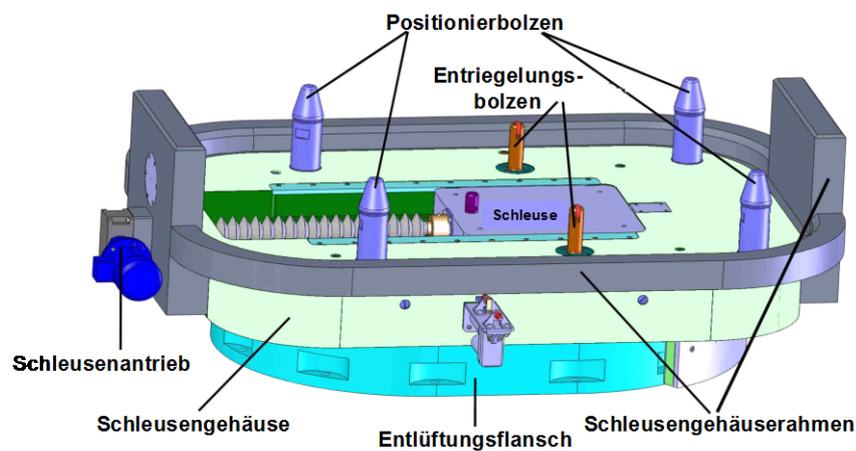
### 5.2.2.3 Bohrlochschleuse

Der Prototyp einer Bohrlochschleuse wurde im Rahmen des FuE-Vorhabens „Optimierung der Direkten Endlagerung durch Kokillenlagerung in Bohrlöchern“ /TEC 10/ entwickelt und hergestellt. Sie verschließt die Einlagerungsbohrung und schirmt diese zur Einlagerungsstrecke hin ab. Das Einlagerungsbohrloch selbst schließt mit einem Aufnahmerohr ab. Die Bohrlochschleuse wird auf das Aufnahmerohr aufgesetzt und verschraubt.

Die Bohrlochschleuse (s. Abb. 5.8) besteht aus einem Grundkörper und einem Flachschieber sowie den Einbauten für die Schieberführung und den Schieberantrieb. Der obere Teil des Grundkörpers ist für die Aufnahme des Transferbehälters topfförmig ausgebildet. Auf der Grundfläche des Aufnahmetopfes sind zur Einfädung des Transferbehälters vier Führungzapfen eingelassen. Der Flachschieber ist ein massiver quaderförmiger Stahlkörper, der über eine Spindel und eine Motorgetriebeeinheit verschoben wird.

Der untere Teil des Grundkörpers ist zum Anschluss an das Aufnahmerohr des Bohrlochs flanschförmig ausgebildet. Im oberen inneren Teil dieses Flansches führen segmentartig ausgeführte Durchbrüche die Abluft aus dem Bohrloch in einen Ringkanal und von dort zum Anschlussstutzen einer Entlüftungsanlage.

Um das Entweichen von Staubpartikeln während des Einlagerungsvorgangs der Endlagerbehälter zu verhindern, wird eine Entlüftungsanlage für das Bohrloch vorgesehen. Die Entlüftungsanlage besteht aus einem Filtersystem, einem Radiallüfter mit elektrischem Antrieb und einer automatischen Steuerung. Die Entlüftungsanlage erzeugt im Bohrloch für den Zeitraum der Bohrlochbefüllung einen Unterdruck gegenüber der Umgebung. Das Filtersystem ist unter Berücksichtigung spezieller Anforderungen entwickelt worden, z. B. der Entstaubung der Luft und dem Abscheiden von Aerosolen. Die entscheidenden Parameter für die Entwicklung der Entlüftungsanlage sind der Luftdurchsatz und der erforderliche Abscheidegrad. Falls erforderlich, können durch entsprechende Auslegung des Filtersystems die direkten Folgen eines Gebindeabsturzes beherrscht werden.



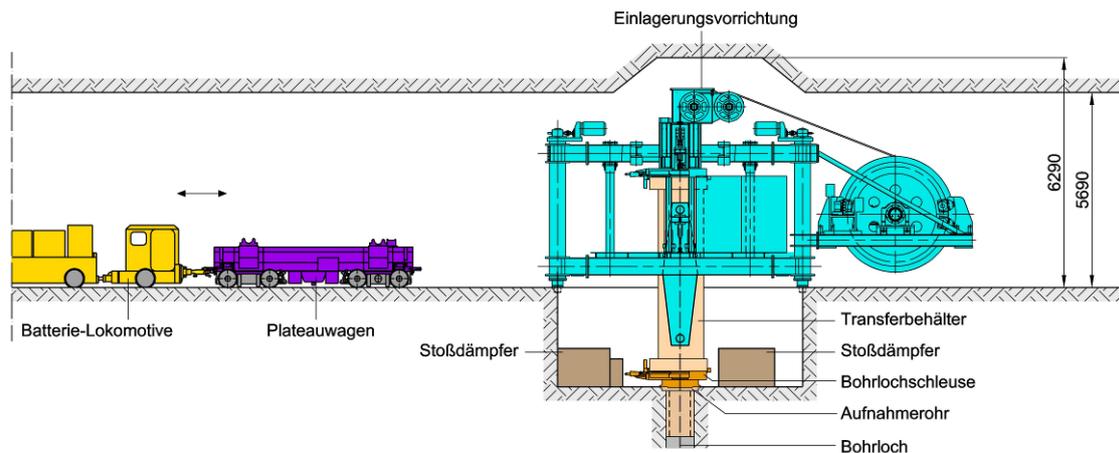
**Abb. 5.8** Bohrlochschleuse

**Technische Daten der Bohrlochschleuse:**

– Länge	2.362 mm
– Breite	1.590 mm
– Durchmesser (Behälterkörper)	1.305 mm
– Höhe	821 mm
– Masse	7,14 Mg

#### 5.2.2.4 Transportabläufe unter Tage

Der mit einem Transferbehälter beladene Plateauwagen wird vom Füllort mit der Batterie-Lokomotive in die Einlagerungsstrecke zum vorgesehenen Einlagerungsbohrloch befördert. Dort ist die Einlagerungsvorrichtung positioniert. Abb. 5.9 zeigt die Komponenten des Einlagerungssystems am Einlagerungsort unter Tage beim Einlagerungsvorgang, bei dem der Transferbehälter auf der Bohrlochschleuse positioniert ist.



**Abb. 5.9** Komponenten des Einlagerungssystems am Einlagerungsort nach Schwenken und Aufsetzen des internen Transferbehälters auf die Bohrlochschleuse

Im Einlagerungsablauf fährt der mit einem Transferbehälter beladene Plateauwagen in das Hubportal der Einlagerungsvorrichtung in die Lastaufnahme-position ein. Mit dem Einschwenken der beiden Klapprahmen wird die Last des Transferbehälters von der Einlagerungsvorrichtung übernommen. Mit dem Hubportal wird der Transferbehälter vom Plateauwagen abgehoben. Der Plateauwagen fährt aus der Einlagerungsvorrichtung, um diesen Bereich freizugeben. Danach senkt das Hubportal in die Hubstellung „Schwenken“ ab. Anschließend wird der Transferbehälter aufgerichtet, und mit einer weiteren Senkbewegung des Hubportals erfolgt das Einstellen des Transferbehälters auf die Bohrlochschleuse. Im nächsten Arbeitsschritt setzt die Abschirmhaube auf den Transferbehälter auf. Mit dem Absenkvorgang erfolgt eine mechanische Koppelung des Verschlusschiebers des Transferbehälters mit den Stellteilen des in der Abschirmhaube integrierten Stellantriebs.

Zum Entladen der Brennstabkokille bzw. des Triple-Packs aus dem Transferbehälter in das Bohrloch wird der Transferbehälter kopfseitig geöffnet und der Kokillengreifer schlägt an die Kokille an. Die Kokille wird anschließend so weit angehoben, dass der bodenseitige Schieber des Transferbehälters unbelastet ist und Behälter- und Bohrlochschleuse geöffnet werden können. Die Kokille wird in das Bohrloch bis zur endgültigen Lagerposition eingefahren, abgesetzt und der Greifer entriegelt. Nach dem Zurückfahren des Kokillengreifers in die Abschirmhaube wird die Bohrlochschleuse und beidseitig der Transferbehälter geschlossen.

Das Hubportal hebt danach den Transferbehälter aus der Bohrlochschleuse bis in die Schwenkposition. Der Transferbehälter wird wieder in die waagerechte Lage geschwenkt. Anschließend wird der Transferbehälter in die höchste Position gehoben, der Plateauwagen in das Hubportal gefahren und der Transferbehälter dem Plateauwagen übergeben. Mit dem Entriegeln und Abschwenken der Klapprahmen und der Freigabe zum Abtransport des entladenen Transferbehälters ist der Einlagerungsvorgang abgeschlossen.

Nach der Einlagerung einer jeden Brennstabkokille oder eines Triple-Packs wird Salzgrus in das Bohrloch gefüllt, um den Ringraum zwischen Endlagerbehälter und Bohrloch zu füllen. Zwischen den einzelnen Kokillen ist eine Salzgrusschüttung von ca. 80 cm vorgesehen. Nach Einlagerung des letzten Endlagerbehälters in einem Bohrloch wird nicht nur der Ringraum, sondern auch das Bohrloch darüber über eine Länge von ca. 10 m vollständig mit Salzgrus verfüllt.

Die Einlagerungsvorrichtung wird für den Zeitraum der Bohrlochbefüllung fest über dem Bohrloch positioniert. Ortswechsel zwischen den Bohrlöchern oder Einlagerungstrecken erfolgen mit Plateauwagen und der Batterie-Lokomotive.



**Abb. 5.10** Einlagerungsvorrichtung übernimmt den Transferbehälter



**Abb. 5.11** Aufrichten des Transferbehälters



**Abb. 5.12** Abschirmhaube setzt auf den Transferbehälter auf



**Abb. 5.13** Einstellen des Transferbehälters auf die Bohrlochschleuse

### **5.3 Transport- und Einlagerungstechnik für Endlagerbehälter mit Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung (Variante A)**

Für die Auslegung der Komponenten für die Transport- und Einlagerungstechnik im Endlager sind die in Tab. 2.4 dargestellten Abmessungen der Endlagerbehälter/Transporteinheiten mit Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung und die vorliegenden Daten zu den Tausch- und Transportpaletten für die Handhabung der Rundgebinde (Betonbehälter Typ I und II, Gussbehälter Typ I bis III) im Endlager zugrunde gelegt worden.

Im Folgenden werden Endlagerbehälter mit radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung und mit Endlagerbehältern beladene Tausch- und Transportpaletten und Transporteinheiten zusammenfassend als Abfallgebinde bezeichnet.

#### **5.3.1 Komponenten und Transportabläufe über Tage**

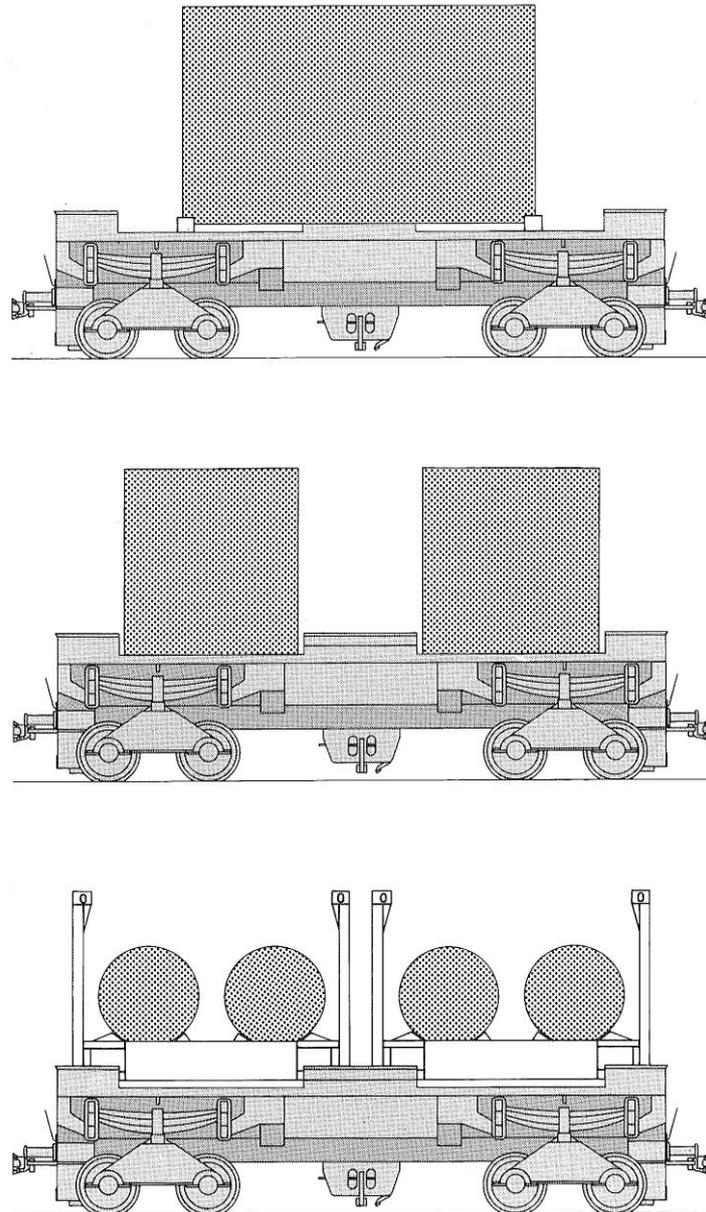
Die Transport- und Handhabungseinrichtungen für die Handhabung und den übertägigen Transport der Abfallgebinde mit Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung entsprechen im Wesentlichen denen der Streckenlagerung (s. Kapitel 5.1.1, Tab. 5.2). Der Brückenkran ist jedoch nicht mit einer Tragkraft von 750 kN, sondern mit einer Tragkraft von 400 kN ausgestattet.

##### **5.3.1.1 Brückenkran 400 kN**

Der Umschlag der Abfallgebinde mit Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung erfolgt mit dem Brückenkran. Mit dem Zusatzhubwerk (200 kN Tragkraft) werden die LKW-Hauben entfernt. Mit dem Haupthubwerk der Brückenkrans (400 kN Tragkraft) werden die Abfallgebinde auf Plateauwagen umgeladen. Als Lastaufnahmemittel werden Spreader eingesetzt, die auf die unterschiedlichen Maße der Abfallgebinde einstellbar sind.

### **5.3.1.2 Plateauwagen für Abfallgebinde mit Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung**

Abb. 5.14 zeigt eine Prinzipdarstellung des Plateauwagens für Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung. Mit dem Plateauwagen werden Abfallgebinde und leere Tausch- oder Transportpaletten von über Tage nach unter Tage transportiert. Die Abfallgebinde werden auf dem Plateauwagen mit einem muldenförmigen Aufsatz, der in verschiedene Auflageebenen unterteilt ist, gesichert. Ein Plateauwagen kann mit zwei Transport- oder Tauschpaletten, zwei Containern der Typen I, II, III, IV, VI (und VII) oder einem Container Typ V beladen werden.



**Abb. 5.14** Plateauwagen für Abfallgebinde mit Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung

Im Folgenden sind die technischen Daten des Plateauwagens dargestellt /DBE 95b/:

- |                             |   |
|-----------------------------|---|
| – max. Geschwindigkeit      | 10 km/h                                       |
| – max. Länge, über Kupplung | 6.300 mm                                      |
| – max. Breite               | 2.300 mm                                      |
| – Höhe, beladen             | abhängig vom transportierten<br>Abfallgebinde |
| – Eigengewicht              | ca. 5 Mg                                      |
| – Spurweite                 | 1.435 mm                                      |
| – min. Kurvenradius         | 20 m  |

Der Plateauwagen wird mit einer Schlepptaverse zum Ankuppeln des Mitnehmers der stationär installierten Flurfördereinrichtungen ausgerüstet. Um eine Zugbildung zu ermöglichen, werden entsprechende automatische Kupplungen vorgesehen.

#### **5.3.1.3 Stationär installierte Flurfördereinrichtung**

Die übertägige Beförderung der Abfallgebinde auf Plateauwagen erfolgt mit der in Kapitel 5.1.1.5 beschriebenen stationär installierten Flurfördereinrichtung.

#### **5.3.1.4 Transportabläufe über Tage**

Die Anlieferung der Abfallgebinde an das Endlager erfolgt per Bahn bzw. per LKW direkt von den Ablieferungspflichtigen. Das Entfernen des Transportschutzes erfolgt in der Entladehalle mit dem Zusatzhubwerk des Brückenkrans. Als Lastaufnahmemittel werden ebenso Spreader eingesetzt. Die Entladung der Abfallgebinde erfolgt in der Entladehalle mit dem Haupthubwerk des Brückenkrans. Als Lastaufnahmemittel werden ebenso Spreader eingesetzt, die auf die unterschiedlichen Maße der Abfallgebinde einstellbar sind. Die weiteren Transportabläufe über Tage erfolgen weitestgehend wie in Kapitel 5.1.1.6 beschrieben.

### **5.3.2 Komponenten und Transportabläufe unter Tage**

Die Bereitstellung der Abfallgebinde im Füllort zum Abtransport in das Einlagerungsfeld erfolgt wie in Kapitel 4.1.2 beschrieben.

#### **5.3.2.1 Stapelfahrzeug**

Im Folgenden wird Bezug genommen auf das für das Endlager Konrad geplante und erprobte Stapelfahrzeug für Abfallgebinde. Bei den endgültigen Planungen ist zu untersuchen, ob zusätzliche technische Maßnahmen aufgrund des Wirtsgesteins Salz erforderlich sind. Die Abfallgebinde werden mit dem Stapelfahrzeug in der Einlagerungskammer vom Plateauwagen abgehoben und bis zum Gebindestapel transportiert. Dort werden die Abfallgebinde gestapelt. Weiter werden mit dem Stapelfahrzeug die als Transportsicherung eingesetzten Hauben von der Transportpalette abgenommen und nach deren Entladung wieder aufgesetzt. Leere Tausch- oder Transportpaletten wer-

den mit dem Stapelfahrzeug vom Ort der Stapelung bis zur Entladekammer zurückbefördert und an der Entladekammer auf den Plateauwagen abgesetzt.

Das Stapelfahrzeug (s. Abb. 5.15) besteht aus einem Vorder- und einem Motorwagen, die durch ein Knickgelenk verbunden sind. Am Vorderwagen sind das Hubgerüst mit Lastaufnahmeeinrichtung, das Gegengewicht, der Kraftstofftank, die Hydraulikanlage, der Hydraulikölbehälter, der Ölkühler, die elektrische Anlage und die Fahrerkabine mit allen Bedienungs- und Kontrollelementen angeordnet.



**Abb. 5.15** Stapelfahrzeug für Abfallgebilde mit Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung

Das Hubgerüst ist in der Höhe verstellbar und kann nach vorn und hinten über Hydraulikzylinder geneigt werden. Der im Hubgerüst gleitende Hubschlitten trägt die Seitenverstellvorrichtung mit Querschlitten und Lastaufnahmeeinrichtung. Zur Lastaufnahme sind folgende leicht wechselbare Einrichtungen vorhanden:

- Gabelzinken zur Handhabung der Tausch- oder Transportpaletten und zylindrischen Abfallgebilde sowie

- Seitenspreader zum kopfseitigen Greifen von Containern mit stufenlos auf die Abmessungen aller Container einstellbaren Spreaderhaken.

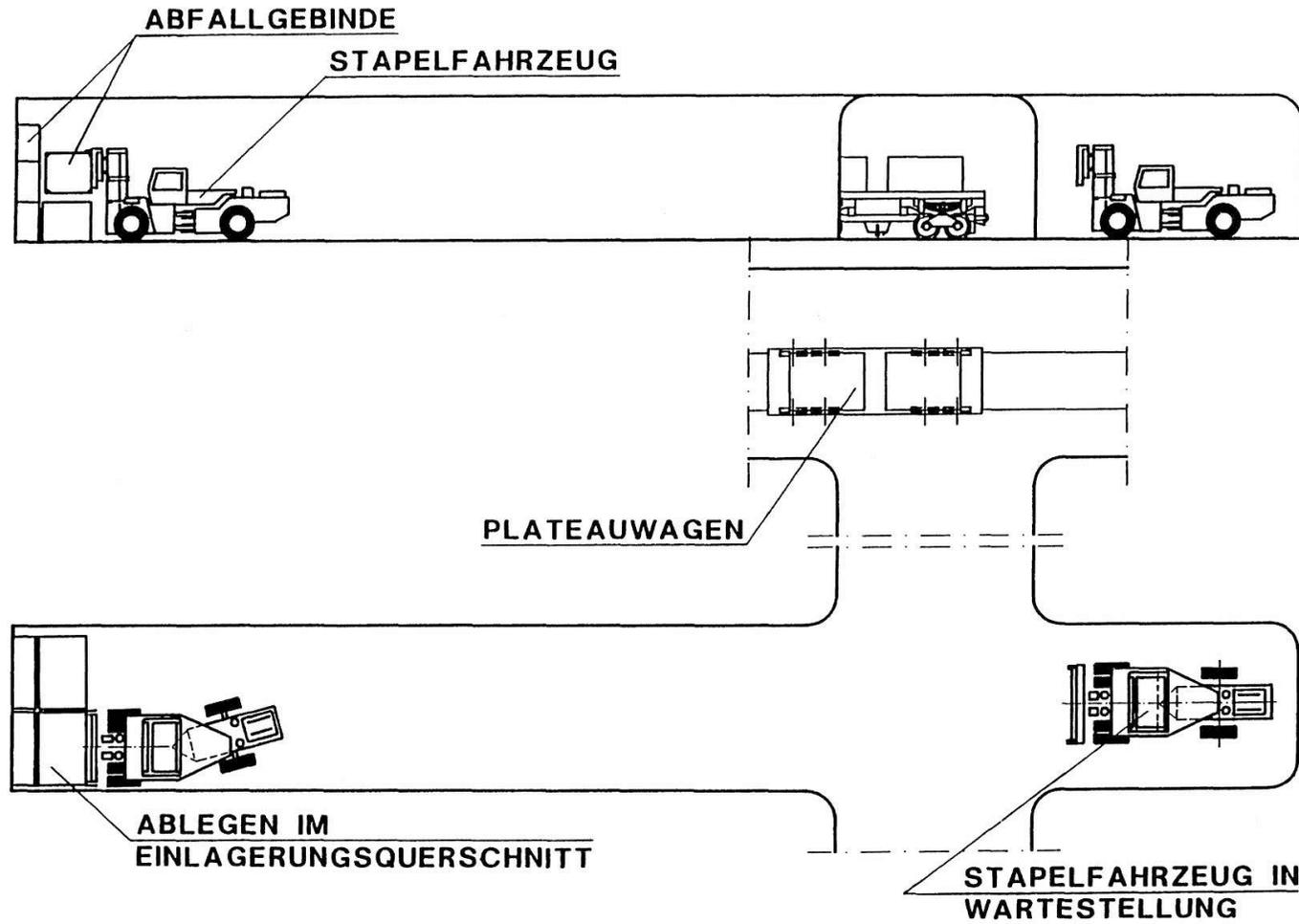
Zur leichteren Lastaufnahme kann der Querschlepper über Hydraulikzylinder aus der waagerechten geschwenkt werden. Die Betätigung aller Arbeitsbewegungen erfolgt von der Fahrerkabine aus.

### **5.3.3 Transportabläufe unter Tage**

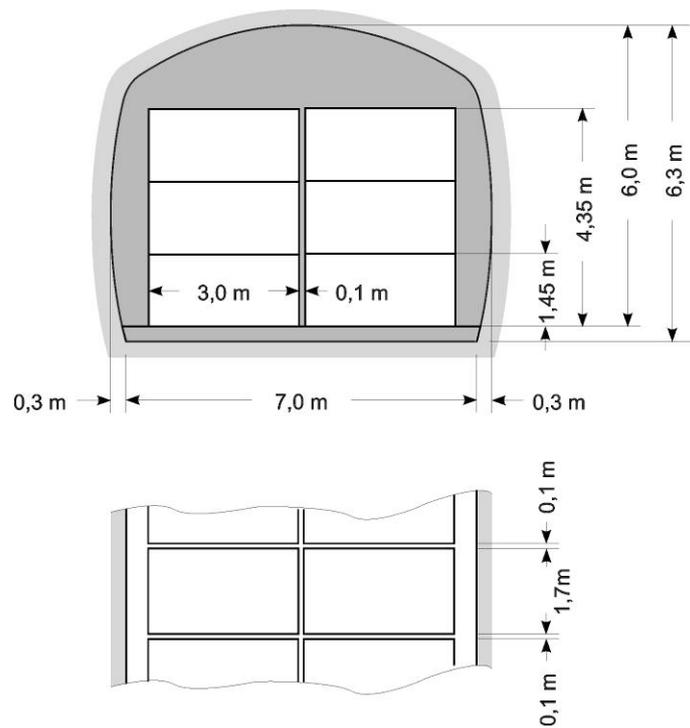
Der beladene Plateauwagen wird vom Füllort mit der Batterie-Lokomotive (s. Kapitel 5.1.2.1) über die Richtstrecke bis zum Querschlag des vorgesehenen Einlagerungsfeldes befördert. Gegebenenfalls werden mehrere mit Abfallgebänden beladene Plateauwagen am Füllort zu einem Zugverband zusammengestellt und gemeinsam befördert.

Die Abfallgebände werden in Einlagerungskammern mit Kammerquerschnitten von ca. 40 m<sup>2</sup> eingelagert. Die zylindrischen Abfallgebände werden liegend, die Container werden auf ihrer Standfläche gestapelt. Der Einlagerungsablauf erfolgt wie in Kapitel 5.3.2.1 beschrieben. Abb. 5.16 zeigt eine Prinzipdarstellung des Einlagerungsvorgangs. Die Gebändeanordnung in der Einlagerungskammer ist beispielhaft für Container Typ IV in Abb. 5.17 und für Container Typ VI in Abb. 5.18 dargestellt.

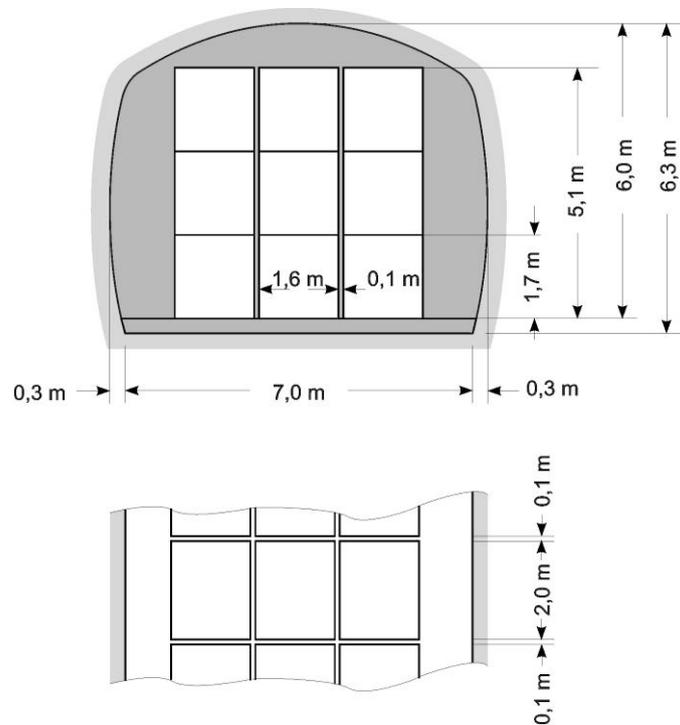
Nach der Einlagerung eines Gebindestapelabschnitts wird die Einlagerungskammer von den Einlagerungskomponenten geräumt und versetzt. Danach wird die Einlagerung des nächsten Gebindestapelabschnittes vorgenommen. Nach Befüllung wird in die Einlagerungskammern ein Kammerverschluss eingebracht.



**Abb. 5.16** Prinzipdarstellung Einlagerungsvorgang für Abfallgebände mit Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung



**Abb. 5.17** Gebindeanordnung für Container Typ IV in einer Einlagerungskammer mit einem Kammerquerschnitt von ca. 41 m<sup>2</sup>



**Abb. 5.18** Gebindeanordnung für Container Typ VI in einer Einlagerungskammer mit einem Kammerquerschnitt von ca. 41 m<sup>2</sup>



## **6 Beschreibung der Betriebsabläufe**

Im folgenden Kapitel werden die wesentlichen Prozesse und Abläufe zur Herstellung des Endlagerbergwerkes, zur Instandhaltung, zum Betrieb während der Einlagerung und zum Verfüllen und Verschließen beschrieben. Diese Beschreibung ermöglicht einen Überblick über die notwendigen betrieblichen Abläufe im Endlagerbergwerk und über sicherheitstechnische Kontroll- und Überwachungsmaßnahmen.

### **6.1 Bergmännische Arbeiten zur Herstellung und Instandhaltung der Grubenräume**

Da die Einlagerungssohle tiefer liegt als die Erkundungssohle, wird in einem ersten Schritt der Schacht 2 auf die erforderliche Teufe gebracht. Dann werden die Infrastrukturbereiche des Überwachungs- und Kontrollbereichs sowie der Versatzbunker aufgefahren. Mit der Errichtung der nördlichen und südlichen Richtstrecken sowie der Querschläge erfolgt die Umfahrung der Einlagerungsfelder. Die Einlagerungsstrecken sowie die Bohrlochbeschickungsstrecken mit den entsprechenden Einlagerungsbohrlöchern werden nach vorzugebendem Einlagerungsregime aufgefahren. In /DBE 98/ wurde davon ausgegangen, dass ca. 10 % der Firstflächen der lange offen zu haltenden Richtstrecken, Querschläge und Nischen im Infrastrukturbereich geankert und eventuell mit Netzen gesichert werden müssen. Nach bergbausicherheitstechnischen Erfordernissen wird festgelegt, für welche in Betrieb befindliche Grubenbaue die Überwachung der Firste auf eventuelle Löser und nachfolgendes Berauben ausreicht.

#### **6.1.1 Herstellung Grubenräume**

Im Gewinnungsbergbau zur Produktion von Kali oder Speisesalzen ist die Herstellung von Grubenhohlräumen durch Bohren und Sprengen eine übliche Methode.

Grubenhohlräume im Endlager, die sicherheitstechnisch weniger bedeutsam sind, wie z. B. die Richtstrecken im Erkundungshorizont, können ebenfalls durch Bohren und Sprengen erstellt werden. Im Einlagerungshorizont, insbesondere in Einlagerungsstrecken, werden die Grubenräume bergmännisch schonend hergestellt, um die Streckenkontur zu schonen. Dazu kommen Teilschnittmaschinen zum Einsatz, die – mit Lasersteuerung ausgestattet – vorgegebene Streckenquerschnitte präzise schneiden

können. Mit Meißel bestückte Schneidköpfe an beweglichen Auslegern fräsen das feste Salzgestein aus dem Gebirge. Integrierte Aufnahmevorrichtungen sammeln das gelöste Haufwerk (Salzgrus) auf und befördern es über einen Gurt in bereitstehende Lader. Diese transportieren das Haufwerk zum Salzbunker im Infrastrukturbereich zum Weitertransport über die Schachtförderanlage nach über Tage oder in Zwischenbunker. Von dem Zwischenbunker kann das Salzgrus abgezogen werden und nach Absieben von Überkorn als Streckenversatzmaterial genutzt werden.

### **6.1.2 Instandhaltung**

Im Folgenden werden die im Bergbau üblichen Instandhaltungs- und Sicherungsmaßnahmen beschrieben. Im Rahmen regelmäßiger Überprüfung der Streckenzustände werden entsprechend angemessene Maßnahmen ausgewählt und eingesetzt.

#### **Ankertechnik**

Gebirgsanker sind für Zugbeanspruchungen ausgelegt und haben eine stabförmige Ausbildung. An ihrem einen Ende, dem Verankerungsende, sind sie mit einem Ankermechanismus ausgerüstet, an dem anderen, dem Ankerkopf, mit einer Tragplatte. Mit dem Ankermechanismus werden sie in ein Bohrloch eingeführt und im Inneren des Gebirges verspannt. Der Ankerkopf ragt dabei aus dem Bohrloch so heraus, dass die an ihm befestigte Tragplatte an der freien Oberfläche des Gebirges aufliegt. Dabei übernimmt sie die Last des Gebirges und überträgt diese auf den Anker. Unmittelbar nach dem Einbauen der Anker werden diese meist vorgespannt, so dass die Gebirgszone zwischen Ankermechanismus und Tragplatte unter Druckspannung gesetzt wird. Diese Druckspannungen bewirken eine Erhöhung der Reibungswiderstände im Gebirge, so dass das Auflockern entlang von Schichtfugen und Klüften eingeschränkt wird. Nach neuestem Stand der Technik werden zum Ankern hochmechanisierte Ankerbohr- und Setzgeräte eingesetzt, bei denen die Arbeitsvorgänge ferngesteuert ablaufen. Geankert wird meist in Bereichen in denen es zu Abschaltungen von Lösern kommen kann oder kommt. Häufigen Einsatz in der Praxis finden die sogenannten Klebeanker.

#### **Berauben**

Eventuell auftretende Löser werden in offen stehenden Grubenbauen mit Hilfe von Beraubestangen manuell nachgerissen. Dieses einfache Verfahren wird auch noch heute, z. B. bei der Inspektion der Grubenbaue, eingesetzt. Beraubestangen werden in

Grubenbauen mit geringem Instandhaltungsaufwand eingesetzt. Der Einsatz von Be-  
raubefahrzeugen, die mit hydraulischen Meißeln ausgestattet sind, erfolgt in Bereichen,  
die einen hohen Instandhaltungsaufwand erfordern.

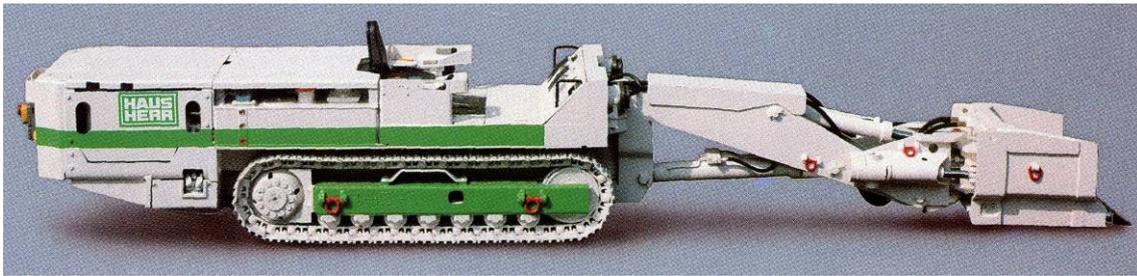
### **Nachschneiden mit einer Firstenfräse**

Beim Nachschneiden von Strecken kommen Teilschnittmaschinen, die das Strecken-  
profil mit Hilfe von Hartmetallmeißeln nachschneiden, zum Einsatz. Die übliche  
Schneidtiefe liegt zwischen 20 bis 40 cm. In Abb. 6.1 ist die im Bergbau häufig anzu-  
treffende Westfalia-Luchs im Betrieb dargestellt. Die Instandhaltung mit Hilfe von Teil-  
schnittmaschinen erfolgt meist in Bereichen, die einen hohen Instandhaltungsaufwand  
erfordern.



**Abb. 6.1** Westfalia-Luchs im Betrieb

Das Nachschneiden der Sohle wird häufig mit dargestellten Streckensenkmaschinen  
(Abb. 6.2) durchgeführt. Das Gestein wird mit Hydro-Schlaghämmern gelöst und dabei  
in die Schaufel gefüllt.



**Abb. 6.2** Streckensenkmaschinen

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass, je nach Umfang, der zur Instandhaltung und Sicherung von Grubenbauen betrieben werden muss, verschiedene Geräte eingesetzt werden. Bei geringem Instandhaltungsaufwand wird manuell mit Beraubstangen gearbeitet. Bei erhöhtem Aufwand werden Beraubfahrzeuge und Teilschnittmaschinen eingesetzt.

## **6.2 Einlagerungsregime**

Im Zusammenhang mit den Planungen gemäß Aktualisierung des Konzeptes Endlager Gorleben /DBE 98/ wurde eine Transportlogistikstudie erstellt, in der alle Prozesse im Endlager von der Anlieferung der Endlagerbehälter und Transporteinheiten über die Pufferung, dem Transport nach unter Tage bis zur Einlagerung untersucht wurden. Die Ausführungen zum Einlagerungsregime beschränken sich in diesem Kapitel auf die Darstellung der ermittelten Anzahl der Schachttransporte (Schachttransporteinheiten) für die Einlagerung der endzulagernden Behälter mit wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen und mit Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung.

Grundlage für die Beschreibung des Einlagerungsregimes sind die in Kapitel 2.5 gemachten Ausführungen über das Abfallaufkommen. Hiernach ist zu erwarten, dass die letzten aus dem Reaktor entladenen Brennelemente im Jahr 2036 anfallen werden. Die Mindestzwischenlagerzeit für einen POLLUX<sup>®</sup>-10, der die Brennstäbe von 10 ausgehenden Brennelementen enthält, wurde bisher noch nicht berechnet, wird aber mit rund 30 Jahren angenommen und in Arbeitspaket 6 überprüft. Unter Berücksichtigung des Anteils an MOX-Brennelementen wird sich diese Zwischenlagerzeit um einige Jahre (s. Kapitel 2.5) verlängern. Damit kann für die Betriebsdauer des Endlagers von ca. 40 Jahren ausgegangen werden, da nach Einlagerung des letzten Endlagerbehälters die abschließende Verfüllung von Strecken, der Rückbau der untertägigen Einrichtungen und Anlagen und das Errichten der Strecken- und Schachtverschlüsse vorzunehmen

men sind. Für das Endlager wird mit 220 Tagen Einlagerungsbetrieb jährlich und 6 Stunden Arbeitszeit täglich gerechnet. Die effektive Arbeitszeit im untertägigen Betrieb (vor Ort) beträgt aufgrund der klimatischen Verhältnisse 5 Stunden.

Der Schacht 2 wird mit einer 85 t Schachtförderanlage zur Förderung der Endlagerbehälter ausgestattet. Ein Zug mit dem Schwerlastkorb der Schachtförderanlage dauert ca. 30 Minuten, so dass unter der Voraussetzung des störungsfreien, einschichtigen Betriebes bis zu 12 Lastzüge pro Tag und bis zu 2.640 Lastzüge pro Jahr möglich sind.

In Tab. 6.1 und Tab. 6.2 sind die Anzahl der Endlagerbehälter mit wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen für die Streckenlagerung (Variante B1) und Bohrlochlagerung (Variante C) zusammenfassend dargestellt; diese Angaben basieren auf dem in Kapitel 2.5 dargestellten Abfallmengengerüst (s. Tab. 2.8 und Tab. 2.10). Die Tabellen enthalten ergänzend dazu auch Angaben zur Anzahl der Schachttransporte insgesamt (Schachttransporteinheiten) für die Beförderung der Endlagerbehälter von über Tage nach unter Tage und Mittelwerte für die Schachttransporteinheiten pro Jahr, pro Woche und pro Tag bei einer angenommenen Betriebszeit des Endlagers von 40 Jahren, 44 Kalenderwochen pro Jahr und 5 Schichten pro Woche.

**Tab. 6.1** Anzahl der Endlagerbehälter für die Einlagerungsvariante B1 – Streckenlagerung – und Anzahl der Schachttransporteinheiten

Endlagerbehälter	Anzahl	Schachttransporteinheiten			
		insgesamt	pro Jahr	pro Woche	pro Tag
POLLUX®-10	3.052	3.052	76	1,8	0,4
POLLUX®-9	905	905	23	0,6	0,2
CASTOR® THTR/AVR	512	512	13	0,3	0,1
CASTOR® KNK					
CASTOR® MTR 2					
Summe	4.469	4.469	112	2,7	0,7

**Tab. 6.2** Anzahl der Endlagerbehälter für die Einlagerungsvariante C – Bohrlochlagerung – und Anzahl der Schachttransporteinheiten

Endlagerbehälter	Anzahl	Schachttransporteinheiten			
		insgesamt	pro Jahr	pro Woche	pro Tag
Transferbehälter mit BSK	10.175	10.175	254	5,8	1,2
Transferbehälter mit Triple-Pack	2.712	2.712	68	1,6	0,4
Transferbehälter mit modifizierter BSK	291 oder 519	291 oder 519	7 oder 13	0,2 oder 0,3	0,1
Summe	13.178 oder 13.406	13.178 oder 13.406	329 oder 335	7,6 oder 7,7	1,7

Aus Tab. 6.1 und Tab. 6.2 ist ersichtlich, dass bei der Einlagerungsvariante C (Bohrlochlagerung) eine höhere Anzahl von Schachttransporten durchzuführen ist als bei der Einlagerungsvariante B1 (Streckenlagerung). Deshalb wird die Einlagerung die Endlagerbehälter der Variante C als abdeckend für die möglichen Schachttransporteinheiten pro Tag berücksichtigt.

Die Art der endlagergerechten Verpackung der Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung ist derzeit nicht durch Endlagerbedingungen festgelegt. Für die weiteren Betrachtungen wurde deshalb vereinfachend eine Verpackung in Konrad-Container Typ IV und Typ VI angenommen (s. Kapitel 2.5). Wenn konkretere Angaben zu den Abfällen und zu ihrer endlagergerechten Verpackung vorliegen, können diese – soweit frühzeitig bekannt – in Arbeitspaket 6 entsprechend berücksichtigt werden. Prinzipiell gilt, dass ein Plateauwagen mit zwei Transport- oder Tauschpaletten, zwei Containern der Typen I, II, III, IV, VI (und VII) oder einem Container Typ V beladen werden kann. Die abgeschätzte Anzahl an Endlagerbehältern mit radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung sowie die Schachttransporteinheiten insgesamt und im Jahr (Mittelwert) sind in Tab. 6.3 zusammenfassend dargestellt.

**Tab. 6.3** Anzahl der Endlagerbehälter für die Einlagerungsvariante A – Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung – und Anzahl der Schachttransporteinheiten

Endlagerbehälter	Anzahl	Schachttransporteinheiten			
		insgesamt	pro Jahr	pro Woche	pro Tag
Betonbehälter Typ I	-	-	-	-	-
Betonbehälter Typ II	-	-	-	-	-
Gussbehälter Typ I	-	-	-	-	-
Gussbehälter Typ II	-	-	-	-	-
Gussbehälter Typ III	-	-	-	-	-
Container Typ I	-	-	-	-	-
Container Typ II	-	-	-	-	-
Container Typ III	-	-	-	-	-
Container Typ IV	12.813	6.407	161	3,7	0,8
Container Typ V	-	-	-	-	-
Container Typ VI	15.432	7.716	193	4,4	0,9
Container Typ VII	-	-	-	-	-
Summe	28.245	14.123	354	8,1	1,7

Die Ermittlung der Schachttransporteinheiten für die wärmeentwickelnden Abfälle und für die Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung zeigt, dass bei der angenommenen Betriebsdauer von 40 Jahren und 1-schichtigem Betrieb im Mittel aufgerundet pro Tag entweder ein POLLUX<sup>®</sup>-Behälter oder zwei Brennstabkokillen nach unten zu fördern und einzulagern wären. Hinzu kämen parallel der Transport und die Einlagerung von zwei Schachttransporteinheiten von radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung. Im Rahmen von Optimierungen können z. B. Betrachtungen zu den Auswirkungen von Mehrschichtbetrieb und/oder parallelem Betrieb von mehreren Einlagerungsorten angestellt werden.

### 6.3 Verfüll- und Verschlussstechniken

Aufbauend auf dem in Kapitel 7 beschriebenen Verfüll- und Verschlusskonzept, das die technischen Maßnahmen zur Umsetzung des Sicherheitskonzeptes beschreibt, wird im Folgenden das Verfahren zum Einbringen der Verfüll- und Verschlussmaterialien beschrieben.

### 6.3.1 Verfüllverfahren

In Tab. 6.4 sind mögliche Verfülltechniken für die einzelnen zu verfüllenden Hohlräume in Abhängigkeit von der Einlagerungstechnik zusammengefasst. Die endgültige Auswahl der Verfülltechniken wird im Verlauf der weiteren Planung getroffen. An die Verfülltechnik werden folgende grundsätzliche Anforderungen gestellt:

- Erreichen einer hohen Anfangsdichte des Versatzes
- firstbündiger Einbau
- Hohlraumminimierung im Versatz zwischen oder seitlich der Behälter
- Gewährleistung der visuellen Kontrolle des Versatzfortschrittes
- hohe Flexibilität durch leichte Umsetz- und Handhabbarkeit der Geräte
- leistungsfähiger Versatzbetrieb (Durchführung eines Versatzzyklus innerhalb einer Schicht)
- geringe Störanfälligkeit – hohe Verfügbarkeit
- Wirtschaftlichkeit des Verfahrens

Bei der Auswahl der Verfülltechnik sind weiterhin zu beachten:

- zu verfüllendes Volumen
- Länge der zu verfüllenden Abschnitte
- Transportmöglichkeiten (z. B. Nutzung vorhandener Gleise)
- zeitlicher Ablauf der Einlagerung der Endlagerbehälter in Abhängigkeit vom faktischen Mengengerüst der verschiedenen Gebindetypen

Ausgehend von den o. g. Anforderungen und Randbedingungen kommen für die Verfülltechniken der einzelnen Hohlräume im Einlagerungsbereich als auch in den übrigen Strecken und Kammern der Blasversatz, der Schleuderversatz und in größeren Strecken und Hohlräumen der Schüttversatz in Betracht. Im folgenden Kapitel sind diese Techniken grob beschrieben.

**Tab. 6.4** Mögliche Verfülltechniken in Abhängigkeit von der Einlagerungstechnik

Einlagerungstechnik/ Hohlraum	Verfülltechnik			
	Blasversatz	Schleuder- truck	Gleisgebunde- nes Versatzfahr- zeug	Schütt- versatz
Streckenlagerung Einlagerungsvariante B1 (Einlagerungsstrecke)		X	X	
Bohrlochlagerung Einlagerungsvariante C (Einlagerungsstrecke)			X	
Kammerlagerung Einlagerungsvariante A (Einlagerungsstrecke)	X	X		
Querschläge (B1, C)		X	X	X
Querschläge (A)	X	X		X
Nördliche Richtstrecken	X	X	X	X
Südliche Richtstrecken	X	X		X
Sonstige Hohlräume, z. B. Werkstätten, Ab- wetter- und Erkun- dungsstrecken	X	X		X

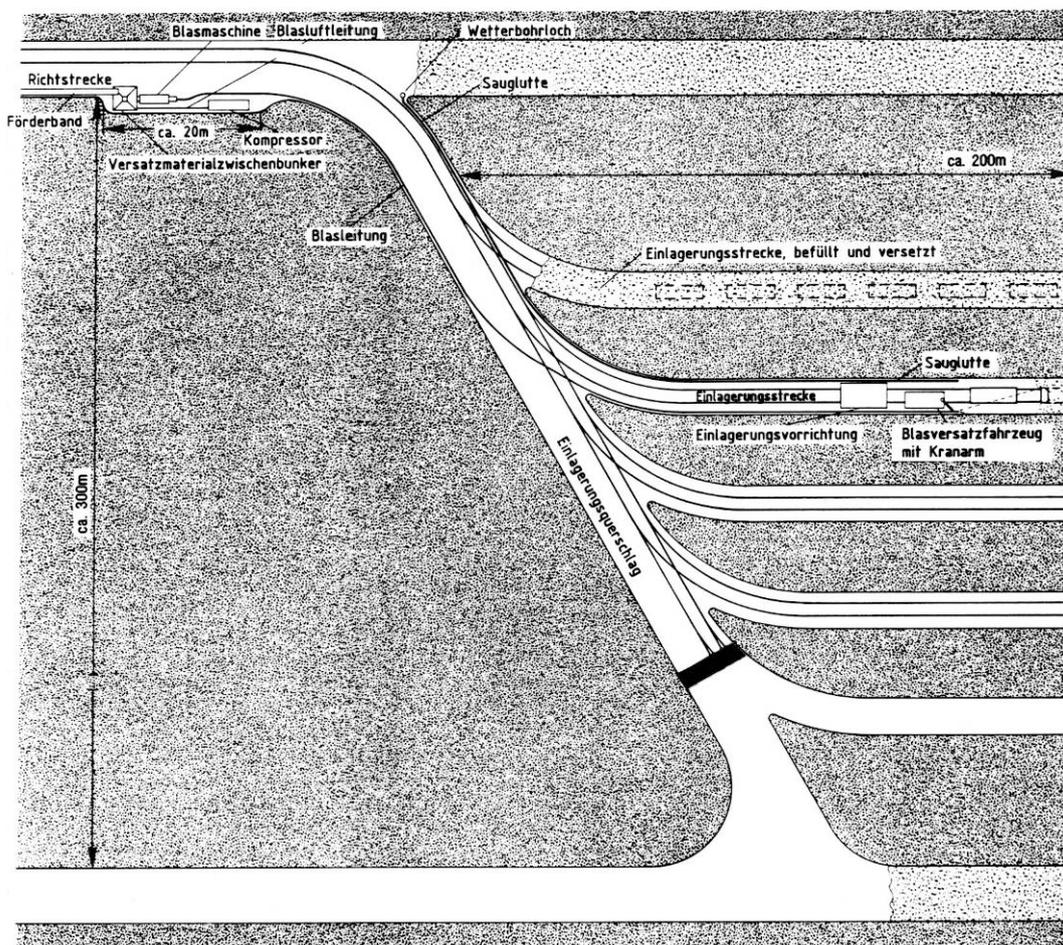
Da bei der Verfüllung der verbleibenden Hohlräume in den Einlagerungsstrecken und Querschlägen mit trockenem Salzgrus eine starke Staubentwicklung zu erwarten ist, sind Maßnahmen zur Einhaltung der Anforderungen des Arbeitsschutzes und zur Minimierung der Staubbelastung in den Abwettern zu ergreifen. Dazu gehört eine Entstaubungsanlage, über die die Abwetter bei Versatzbetrieb in Verbindung mit der saugenden Sonderbewetterung geführt werden. Um eine schnellere Versatzkompaktion zu erreichen, wird in den Richtstrecken Lauge bis max. 1 Gew.-% zugefügt. Dabei wird erwartet, dass die Staubentwicklung hier geringer ausfällt als beim Einbau von trockenem Versatz.

### 6.3.1.1 Blasversatz

Für den Blasversatz, der voraussichtlich aufgrund der besseren Verfüllbarkeit schmaler und tiefer Resthohlräume in den Einlagerungskammern für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung zum Einsatz kommt, wird das Versatzmaterial von der Brech- und Siebanlage mittels Förderband zu einem Zwischenbunker transportiert. Der Zwischenbunker wird für das Verfüllen von Einlagerungskammern in der Richtstre-

cke installiert. Neben dem Zwischenbunker werden der Druckluftkompressor und die Blasmachine installiert. Von dort wird die Blasleitung in den zu verfüllenden Hohlraum geführt. Vor Ort wird die Blasleitung mit einem Kranarm positioniert, der auf einem Gleislofahrzeug (Blasversatzfahrzeug) montiert ist.

Während des Versatzeinbringens befindet sich das Bedienungspersonal im Frischwetterbereich. Aus Gründen des Arbeitsschutzes könnte es dennoch erforderlich werden, das Blasversatzfahrzeug mit einer staubdichten, klimatisierten Kabine auszurüsten. Beispielhaft ist eine Prinzipdarstellung des Blasversatzes einer Einlagerungstrecke für POLLUX®-Behälter in Abb. 6.3 gezeigt. Mit einer Blasversatzanlage sind Versatzleistungen von 100 m<sup>3</sup>/h erreichbar.



**Abb. 6.3** Prinzipdarstellung eines Blasversatzsystems für die Streckenlagerung von POLLUX®-Behältern

### **6.3.1.2 Schleuderversatz mit Schleudertruck**

Für den Schleuderversatz, der in den Strecken des Nordost-Flügels eingesetzt werden soll, wird wie beim Blasversatz ein Zwischenbunker für das Versatzmaterial eingerichtet, der gleichzeitig die Beladestelle für den Schleudertruck ist. Der beladene Schleudertruck 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.

Während des Versatzeinbringens befindet sich das Bedienungspersonal im Frischwetterbereich. Aus Gründen des Arbeitsschutzes könnte es dennoch erforderlich werden, den Schleudertruck mit einer staubdichten, klimatisierten Kabine auszurüsten. Der Fahrer kann mit dem örtlichen Leitstand kommunizieren. Eine Prinzipdarstellung des Schleuderversatzes mittels Schleudertruck ist in Abb. 6.4 gezeigt.

Der Schleudertruck ist ein dieselmotorisch angetriebenes knickgelenktes Gleislofahrzeug (s. Abb. 6.5). Die Fahrerkabine wird, wenn es nötig ist, mit einer Abschirmung versehen ausgeführt. Hinter dem Knickgelenk über der Hinterachse ist die Mulde aufgebaut. Heckseitig ist der Truck mit der Versatzschleuder ausgerüstet. Die Beschickung der Versatzschleuder mit Versatzgut erfolgt mit Hilfe einer an der Vorderseite der Mulde angeordneten Schubwand. Ein Standardschleudertruck kann bei einem Muldeninhalt von  $6 \text{ m}^3$  eine Versatzleistung von theoretisch  $60 \text{ m}^3/\text{h}$  erreichen.

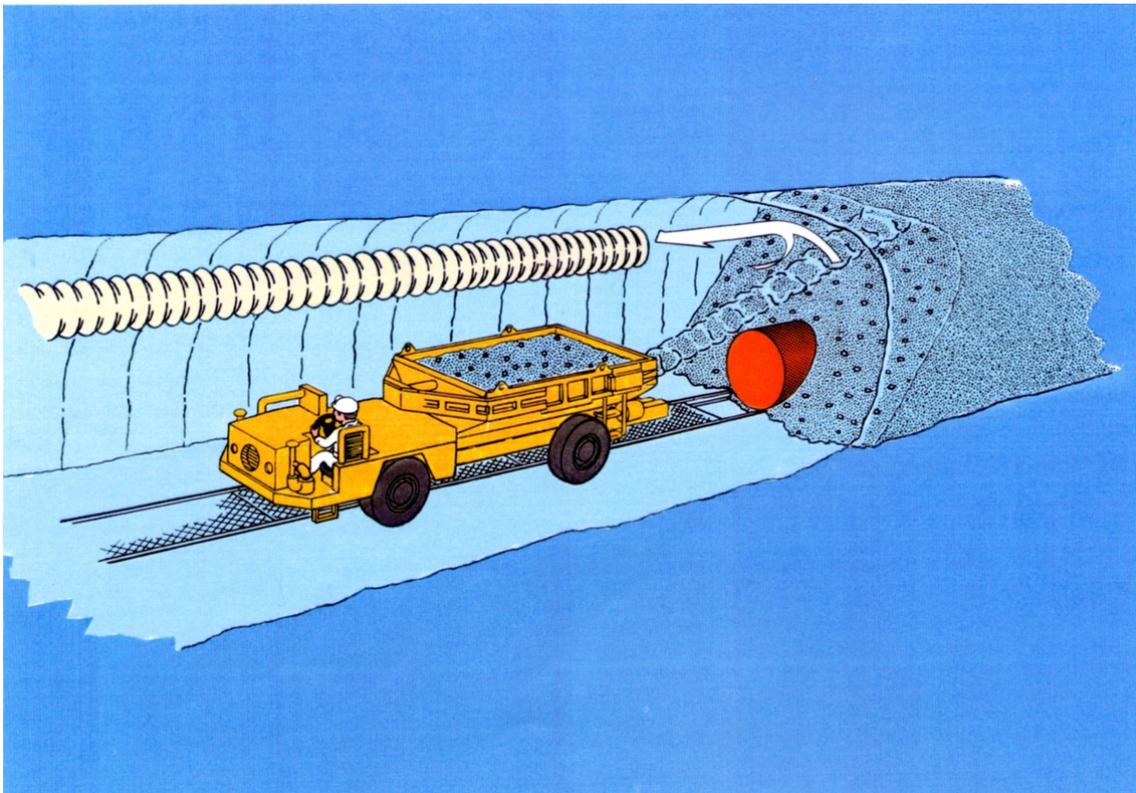
### **6.3.1.3 Schleuderversatz mit gleisgebundenem Versatzfahrzeug**

Für die Verfüllung von Hohlräumen, in denen für den Einlagerungsbetrieb Gleisanlagen verlegt sind, kann alternativ zum Schleudertruck ein gleisgebundenes Versatzfahrzeug eingesetzt werden. Der Einsatz eines derartigen Versatzfahrzeugs empfiehlt sich, wenn z. B. aus sicherheitstechnischen Gründen mögliche Brandlasten gesenkt werden müssten, da es mit Batterie elektromotorisch betrieben werden kann.

Das gleisgebundene Versatzfahrzeug (s. Abb. 6.6) besteht aus einer Batterielokomotive, einem oder mehreren Förderwagen mit Versatzgutübergabe und einem Plateauwagen mit der am Wagenende montierten Versatzschleuder sowie dem Steuerstand.

Der Steuerstand wird erforderlichenfalls staubdicht und klimatisiert ausgeführt. Ebenso ist eine kameraüberwachte Fernsteuerung aus der Lokomotive möglich.

Mit einem Versatzzug mit 6 bis 8 Förderwagen könnte z. B. das gesamte, für den Versatz eines POLLUX®-Behälters benötigte Versatzmaterial von ca. 100 m<sup>3</sup> vom Zwischenbunker zum Verfüllort transportiert und dort verschleudert werden.



**Abb. 6.4** Prinzipdarstellung des Schleuderversatzes mittels Schleudertruck

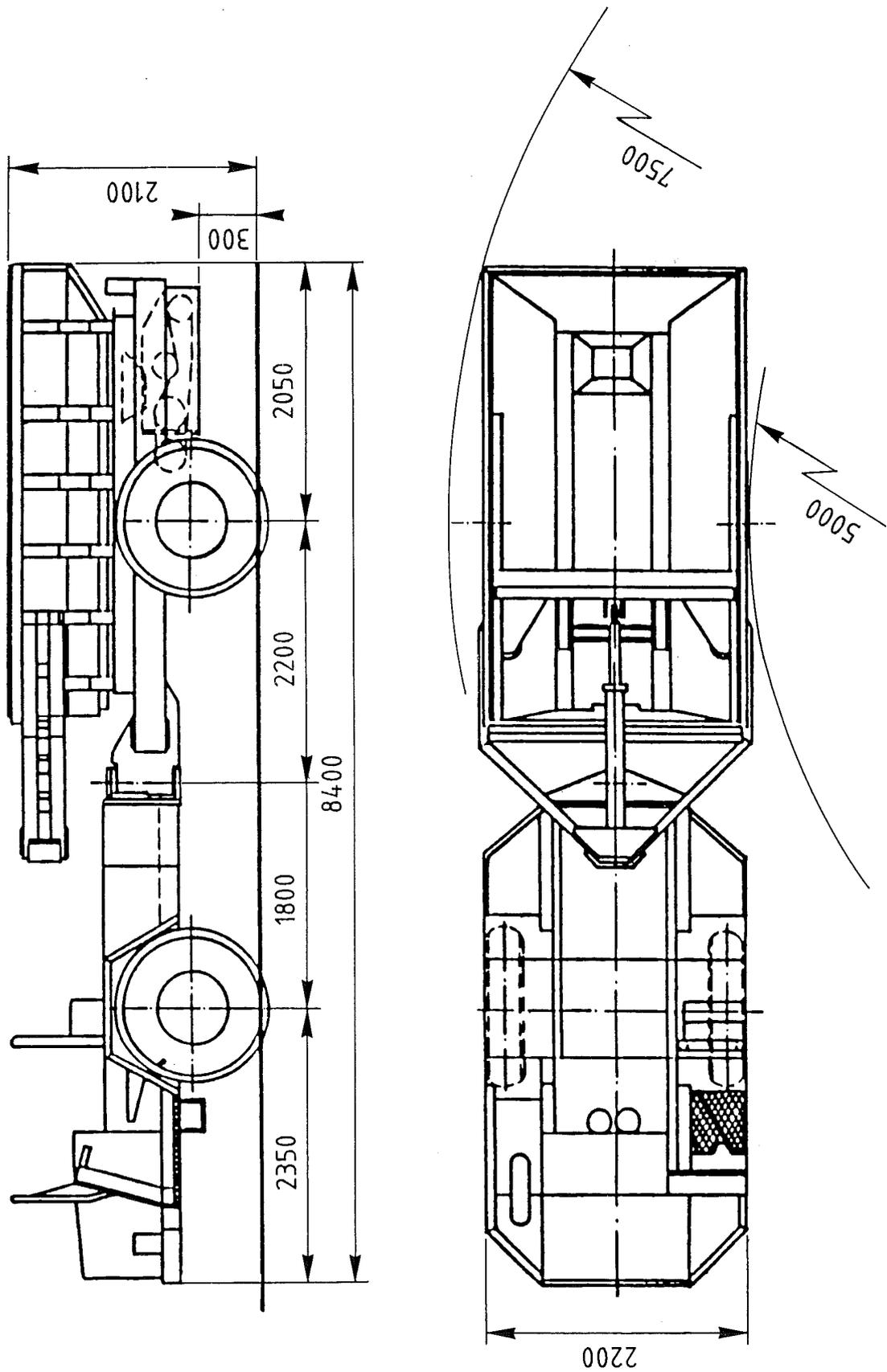
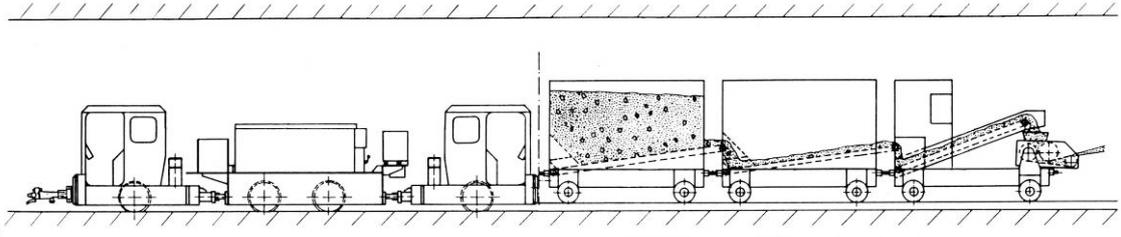


Abb. 6.5 SWF 10 Schleudertruck (Angaben in mm)



**Abb. 6.6** Gleisgebundener Schleuderversatz

#### 6.3.1.4 Schüttversatz

Für das Verfüllen von Querschlägen und Richtstrecken sowie sonstigen Hohlräumen wie z. B. Werkstätten, Abwetterstrecken, Erkundungsstrecken kann der Schüttversatz eingesetzt werden. Dabei wird das Versatzmaterial vom Zwischenbunker mit Kippfahrzeugen zum Verfüllort transportiert und abgekippt. Mit geeigneten mobilen Geräten, z. B. einer Planierraupe, kann das Versatzgut zu einer Böschung zur Firste angeschoßen werden. Der verbleibende Hohlraum kann mit Schleudertrucks versetzt werden.

### 6.4 Sonstige funktionale Maßnahmen

#### 6.4.1 Betrieblicher Strahlenschutz

Die für den Betrieb eines Endlagers geltenden Schutzziele werden durch das Atomgesetz (AtG) /ATG 10/ und die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) /STV 08/ vorgegeben. Darüber hinaus sind alle übrigen einschlägigen Vorschriften zu beachten.

Das wesentliche Schutzziel der Strahlenschutzgesetzgebung ist nach § 1 des Atomgesetzes:

Leben, Gesundheit und Sachgüter vor den Gefahren der Kernenergie und der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung zu schützen.

In § 6 StrlSchV /STV 08/ sind die zum Erreichen des o. a. Schutzzieles dienenden Strahlenschutzgrundsätze formuliert. Danach ist jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt zu vermeiden und jede Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalles

auch unterhalb der in dieser Verordnung festgelegten Grenzwerte so gering wie möglich zu halten.

Weitere aus Sicht des Strahlenschutzes zu beachtende Vorschriften sind z. B.:

- die Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) /REI 96/
- Empfehlungen von Expertengruppen wie z. B. der Strahlenschutzkommission (SSK)
- Regeln, Normen, Beschlüsse wie z. B. die sicherheitstechnischen Regeln des kerntechnischen Ausschusses (KTA), die Normen des Deutschen Institutes für Normung (DIN), die Bestimmungen der Berufsgenossenschaften und anderer Fachorganisationen (z. B. UVV) und die Weisungsbeschlüsse der TÜV-Leitstellen bei der VdTÜV.

Im Rahmen des betrieblichen Strahlenschutzes werden folgende Kontroll- und Überwachungsmaßnahmen durchgeführt:

- Einteilung des Endlagers in Strahlenschutzbereiche
- Gebindeeingangskontrolle des Strahlenschutzes
- Kontaminationsüberwachung von Arbeitsplätzen und Anlagen
- Überwachung der Ortsdosis und Ortsdosisleistung
- Überwachung von Wetter und Raumluft
- Personenüberwachung
- Emissionsüberwachung
- Immissionsüberwachung

#### **6.4.2 Einteilung des Endlagers in Strahlenschutzbereiche**

Eine Einteilung des Endlagers in Strahlenschutzbereiche ist aufgrund der Strahlung sowie einer möglichen Kontamination bzw. Freisetzung von Radionukliden aus den Endlagerbehältern erforderlich. Sie ist ein wichtiges Instrument des Strahlenschutzes, um den in § 6 StrlSchV /STV 08/ genannten Vermeidung unnötiger Strahlenexposition und Dosisreduzierung zu entsprechen. Hierbei wird sowohl den Anforderungen des

Strahlenschutzes als auch des Betriebes Rechnung getragen, indem der Auffahr- vom Einlagerungs- und Versatzbetrieb räumlich und wettertechnisch getrennt und die Strahlenschutzbereiche zusammenhängend eingerichtet werden. Die dem Einlagerungsbetrieb dienenden Grubenbaue und die abwetterseitig nachgeordneten Baue werden, wenn eine eventuelle Kontamination zu besorgen ist, zum Kontrollbereich erklärt.

Nach der Strahlenschutzverordnung ist bei den Strahlenschutzbereichen zu unterscheiden zwischen Sperrbereichen, Kontrollbereichen, betrieblichen Überwachungsbereichen und dem außerbetrieblichen Überwachungsbereich.

#### **6.4.2.1 Sperrbereiche**

Sperrbereiche sind die Teile des Kontrollbereiches, in denen eine Ortsdosisleistung größer als 3 mSv/h auftreten kann.

Zum Sperrbereich gehört bei der Bohrlocheinlagerung (Variante C) das Innere der Bohrlöcher, bei denen bereits mit der Einlagerung begonnen wurde.

#### **6.4.2.2 Kontrollbereiche**

Kontrollbereiche sind Bereiche, in denen die Möglichkeit besteht, dass Personen im Kalenderjahr eine höhere effektive Dosis als 6 mSv erhalten können. Diese Möglichkeit besteht überall dort, wo Endlagerbehälter gehandhabt und gelagert werden. Alle diesen Bereichen wettertechnisch und Lüftungstechnisch nachgeschalteten Räume werden ebenfalls zum Kontrollbereich erklärt.

Zum übertägigen Kontrollbereich gehören:

- Entladehalle für die Endlagerbehälter der Varianten A, B und C
- Bereitstellungs- und Transporthalle einschließlich Übergabebereiche
- Pufferungshallen für die Endlagerbehälter der Varianten A, B und C
- Technikbereiche für die Endlagerbehälter der Varianten A, B und C
- Werkstatt
- Raum für Sonderbehandlung

- Räume zur Sammlung fester und flüssiger radioaktiver Betriebsabfälle sowie für deren Aufbereitung
- Schachthalle von Schacht 2
- Wäscherei für Wäsche aus dem Kontrollbereich
- Strahlenschutzlabor
- Labor für chemische und radiochemische Analysen
- Räume für die Personendekontamination
- Lüftungsanlage für die Abluft aus dem übertägigen Kontrollbereich sowie Wetterkanal und Innenseite des Kamins

Zum untertägigen Kontrollbereich gehören:

- Schachtröhre von Schacht 2
- Füllort von Schacht 2
- Transportstrecken für den Transport der Endlagerbehälter der Varianten A, B und C
- Einlagerungsfelder und -strecken für die Endlagerbehälter der Varianten A, B und C (teilweise)
- Wetterstrecken, die Abwetter aus den oben genannten Bereichen führen
- Grubennebenräume im Einlagerungsbereich wie Werkstätten, Dekontaminationsräume, elektrische Betriebsräume, Lagerräume für Betriebs- und Hilfsstoffe, Fahrzeugabstellplätze, Raum zur Sammlung flüssiger und fester radioaktiver Betriebsabfälle

In den Einlagerungsfeldern ist mit fortschreitender Befüllung der Felder eine Verschiebung der Kontrollbereichsgrenze durchzuführen.

Neben den oben aufgeführten Bereichen können „temporäre Kontrollbereiche“ überall dort eingerichtet werden, wo zeitweise ein erhöhter Strahlenpegel vorliegt und im Sinne des Strahlenschutzes dies für notwendig erachtet wird. Dies kann z. B. dort vorkommen, wo beladene Anlieferungsfahrzeuge parken.

### 6.4.2.3 Überwachungsbereiche

Überwachungsbereiche sind Bereiche, in denen Personen im Kalenderjahr eine effektive Dosis von mehr als 1 mSv erhalten können. Die den Kontrollbereich umgebenden Bereiche können als Überwachungsbereich ausgewiesen werden.

### 6.4.2.4 Kontrollbereichsübergänge

Das Betreten und Verlassen des Kontrollbereiches über und unter Tage wird kontrolliert. Ständig benutzte Kontrollbereichsübergänge sind wie folgt vorgesehen:

- für Personen zu den Arbeitsplätzen
  - über Tage der Personenzugang zur Umschlagsanlage
  - unter Tage mindestens zwei Übergänge: einer in der Nähe der Kontrollbereichswerkstatt, da Personen, die im untertägigen Kontrollbereich arbeiten, über Schacht 1 einfahren und somit erst unter Tage den Kontrollbereich betreten; der oder die anderen Übergänge werden festgelegt (Festlegung nach Vorliegen genauerer Grubengebäudeplanungen)
- für Endlagerbehälter
  - Zufahrtstor der Umschlagsanlage für beladene LKW und Waggons
- für technisches Gerät
  - die vorgenannten Übergänge, die Ausfahrten aus der Umschlagsanlage für LKW und Waggons sowie evtl. ein Tor in der Schachthalle für Großgeräte

Daneben gibt es noch Übergänge, die zwar regelmäßig, aber nur für bestimmte Tätigkeiten oder für Kontroll- und Wartungszwecke passiert werden. Die Benutzung dieser Übergänge geschieht jeweils unter Aufsicht des Strahlenschutzes. Weiterhin gibt es noch Übergänge wie Sicherungstüren (Objektschutz) und Fluchttüren.

### **6.4.3 Maßnahmen des betrieblichen Strahlenschutzes**

An Maßnahmen des betrieblichen Strahlenschutzes sind durchzuführen /STV 08/:

- Gebindeeingangskontrolle des Strahlenschutzes
- Kontaminationsüberwachung
- Überwachung der Ortsdosis und Ortsdosisleistung
- Überwachung der Raumlufte und der Wetter
- Personenüberwachung
- Emissionsüberwachung
- Immissionsüberwachung

### **6.4.4 Bewetterung**

Um zu verhindern, dass eventuell kontaminierte Wetter aus dem Kontrollbereich (Einlagerungsbereich) in den Überwachungsbereich (Auffahrungsbereich) gelangen, ist es erforderlich, zwischen den Bereichen eine zum Kontrollbereich gerichtete Strömung aufrecht zu erhalten oder eine wettertechnische Trennung durch Wetterbauwerke sicherzustellen.

In /DBE 98/ wurden zwei Bewetterungskonzeptionen vertieft bearbeitet. Bei der Bewetterungskonzeption A ist die südliche Richtstrecke der Frischwetterzubringer und die nördliche Richtstrecke die Abwetterstrecke für Auffahrung und Einlagerung. Bei der Bewetterungskonzeption B sind sowohl die südliche als auch die nördliche Richtstrecke Frischwetterzubringer und die Erkundungssohle wird als Abwetterstrecke aus Auffahrung und Einlagerung genutzt. Hierher erfolgt die Wetterführung zur Abwetter(Erkundungs-)sohle über Wetterbohrlöcher mit einem lichten Durchmesser von ca. 1.400 mm.

In /DBE 98/ wurde keine endgültige Entscheidung für eine der beiden Bewetterungskonzeptionen getroffen. Die Entscheidung wurde vom Ergebnis einer noch durchzuführenden Sicherheitsanalyse abhängig gemacht.

Bei der Bewetterungskonzeption A waren die wettertechnischen Einrichtungen technisch einfacher als bei der Bewetterungskonzeption B zu realisieren. Darüber hinaus

wurden bei dieser Bewetterungskonzeption keine Abwetterbohrlöcher und zusätzlichen Strecken im Bereich der Erkundungssohle erforderlich. Damit wäre auch dem Sicherheitsprinzip aus den Sicherheitsanforderungen des BMU /BMU 10/ Rechnung getragen, den einschlusswirksamen Gebirgsbereich so wenig wie möglich zu durchhörern. Die Erkundungsstrecken können dann abgeworfen und abgedämmt werden. Der Nachteil besteht darin, dass Abwetter aus der Auffahrung und aus dem Fahrzeugbetrieb in den Kontrollbereich gelangen. Diese Belastung könnte aber durch Einlagerungs- und Auffahrbetrieb in verschiedenen Schichten minimiert werden.

Eine endgültige Entscheidung für eine der beiden Bewetterungskonzeptionen kann nur auf der Basis weiterführender Planungen getroffen werden. Im Arbeitspaket 6 soll diese Fragestellung intensiv untersucht werden.

## 7 Verfüll- und Verschlusskonzept

### 7.1 Zielsetzung

Grundlage des Verfüll- und Verschlusskonzeptes ist das Sicherheitskonzept, das im Rahmen der Erarbeitung des Sicherheits- und Nachweiskonzeptes (Arbeitspaket 4) entwickelt wurde. Dort ist als übergeordnetes Ziel formuliert, dass mit dem Sicherheitskonzept die in den Sicherheitsforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder Abfälle /BMU 10/ definierten Schutzziele erreicht und die Sicherheitsprinzipien eingehalten werden. In den nachfolgenden Kapiteln werden die für das Verfüll- und Verschlusskonzept relevanten Ziele für die Betriebsphase und die Phase nach der Stilllegung hergeleitet und die technischen Maßnahmen zur Umsetzung des Sicherheitskonzeptes beschrieben.

Die für das Verfüll- und Verschlusskonzept maßgeblichen Sicherheitsprinzipien lauten:

- Die radioaktiven und sonstigen Schadstoffe in den Abfällen müssen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich (ewG) konzentriert und eingeschlossen werden und damit möglichst lange von der Biosphäre ferngehalten werden (Sicherheitsprinzip 4.1).
- Die Endlagerung muss sicherstellen, dass Freisetzungen radioaktiver Stoffe aus dem Endlager langfristig die aus der natürlichen Strahlenexposition resultierenden Risiken nur sehr wenig erhöhen (Sicherheitsprinzip 4.2).
- Das Endlager ist so zu errichten und zu betreiben, dass für den zuverlässigen langfristigen Einschluss der radioaktiven Abfälle im ewG in der Nachbetriebsphase keine Eingriffe oder Wartungsarbeiten erforderlich werden (Sicherheitsprinzip 4.6).

Aus diesen Sicherheitsprinzipien wurden für die Betriebsphase konkrete Zielsetzungen abgeleitet, von denen für das Verfüll- und Verschlusskonzept folgende relevant sind:

- Es ist eine radiologische Abschirmung der eingelagerten Abfälle durch Verschlüsse bei Variante B1 (Streckenlagerung) und Variante C (Bohrlochlagerung) vorzusehen.
- Die Einlagerung der Abfälle hat im Rückbau zu erfolgen, d. h. der entfernteste Einlagerungsbereich ist zuerst zu befüllen und danach zu verschließen.

Für die Phase nach der Stilllegung des Endlagers werden ebenfalls konkrete Zielsetzungen aus den Sicherheitsprinzipien abgeleitet. Relevant für das Verfüll- und Verschlusskonzept sind folgende:

- schnelles Umschließen der eingelagerten Abfälle mit Steinsalz
- kein Zutritt von erheblichen Lösungsmengen zu den Abfällen bei den als wahrscheinlich eingestuftem möglichen Entwicklungen des Endlagersystems
- Begrenzung eines Zutritts von Lösungen bei den als wahrscheinlich eingestuftem möglichen Entwicklungen des Endlagersystems
- Reduzierung der Gasdruckaufbaurrate in den Grubenbauen des Endlagerbauwerks, so dass kein Frac entsteht
- Behinderung und Verzögerung des Transports von Schadstoffen aus dem ewG für den Fall, dass es zu einer Mobilisierung von Schadstoffen kommt

## **7.2 Technische Maßnahmen zur Umsetzung des Sicherheitskonzeptes**

Die während der Erstellung des Endlagerbergwerkes aufgefahrenen Hohlräume sowie die beiden Tagesschächte stellen eine Durchörterung der geologischen Barriere dar. Im Sicherheitskonzept, dessen Leitgedanke neben der sicheren Betriebsführung des Endlagerbergwerkes der sichere Einschluss der radioaktiven Abfälle ist, wird deshalb eine schnelle und wirksame Abdichtung dieser Durchörterungen gefordert, um langfristig die Integrität der geologischen Barriere wieder herzustellen.

Für die Einlagerungsvariante B1 (Streckenlagerung) ist dazu folgendes Sicherheitskonzept vorgesehen.

- Die Einlagerung der Endlagerbehälter beginnt am vom Schacht entferntesten Punkt im Einlagerungsfeld Ost 1.
- Direkt nach der Einlagerung eines Endlagerbehälters wird der verbleibende Streckenraum um den Behälter mit trockenem Versatzmaterial verfüllt.
- Richtstrecken werden mit angefeuchtetem Versatz verfüllt.
- Die Tagesschächte werden mit Schachtverschlüssen abgedichtet.
- Die Zugangsstrecken in Schachtnähe werden mit Streckenverschlüssen abgedichtet.

Diese Maßnahmen werden grundsätzlich auch für die Variante C (Bohrlochlagerung) und B2 (Differenzbetrachtung zur Einlagerung von Transport- und Lagerbehälter) angewendet.

Die Beschreibung dieser Maßnahmen erfolgt zunächst für die Variante B1 (Streckenlagerung) inklusive der für alle Varianten optional zu berücksichtigenden Einlagerung von radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung (Variante A). Abweichungen davon oder ergänzende Maßnahmen im Verfüll- und Verschlusskonzept für die Variante B2 (Transport- und Lagerbehälter) und die Variante C (Bohrlochlagerung) werden in den folgenden Kapiteln aufgeführt.

Die Umsetzung des Sicherheitskonzeptes für Variante B1 beginnt in der Betriebsphase mit dem Verfüllen von nicht mehr genutzten Grubenbauen mit Salzgrus. Das betrifft Strecken, die mit Endlagerbehältern befüllt sind oder Strecken und Grubenbaue, die für den weiteren Betrieb des Endlagers nicht mehr benötigt werden und im Hinblick auf ihre Funktion zur langfristigen Isolation der radioaktiven Abfälle entsprechend zu verfüllen sind.

### **7.2.1 Verfüll- und Verschlussmaßnahmen für Variante B1**

Das Endlagerbergwerk in 870 m Teufe ist in zwei Flügel aufgeteilt (s. Kapitel 1.1). Im Nordosten werden die wärmeentwickelnden radioaktiven Abfälle in horizontalen Strecken eingelagert, im Südwesten die Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung in Kammern.

Es ist vorgesehen, dass grundsätzlich die offenen Hohlräume des Endlagerbauwerkes sukzessive, nachdem sie nicht mehr genutzt werden (z. B. Transportstrecken) oder nachdem die Endlagerbehälter eingelagert worden sind (z. B. Einlagerungsstrecken), mit Versatzmaterial verfüllt werden. Als Versatzmaterial wurde Salzgrus ausgewählt, weil es als arteigenes Material (gebrochenes Salz aus der Streckenauffahrung) in seiner stofflichen Zusammensetzung dem Wirtsgestein gleich ist, weil es in ausreichender Menge ohne weitere Aufarbeitung im Endlagerbergwerk zur Verfügung steht und weil es mit erprobten Verfahren in die Grubenbaue eingebaut werden kann. Eine Ausnahme bildet der Infrastrukturbereich. Hier ist langzeitstabiles Material mit definierten Porenraum vorgesehen (s. S. 153). Die funktionalen Anforderungen an Versatzmaterial, so wie diese in /ISI 08/ hergeleitet wurden, können vom Salzgrus erfüllt werden:

- mechanisch die natürliche geologische Barriere stabilisieren
- die Zerfallswärme von den wärmeentwickelnden Abfällen in das Wirtsgestein ableiten
- das Hohlraumvolumen in Grubenräumen reduzieren
- eine hohe Anfangsdichte haben und firstbündig einbaubar sein
- langfristig eine Dichtfunktion wie das Wirtsgestein übernehmen

Damit lassen sich auch die vorgenannten Zielsetzungen des Sicherheitskonzeptes für die Betriebsphase und die Phase nach Stilllegung erreichen.

Als technisches Konzept der Verfüllung der Grubenbaue ist vorgesehen, dass nach der jeweiligen Einlagerung von POLLUX<sup>®</sup>-Behältern trockener Salzgrus als Versatzmaterial in die Einlagerungsstrecke eingebracht wird. Das geschieht in Übereinstimmung mit der Zielsetzung, im Rückbau einzulagern, d. h. am entferntesten Punkt vom Schacht mit der Einlagerung zu beginnen. Für die hier betrachtete Variante B1 (Streckenlagerung) bedeutet das, dass der Hohlraum zwischen POLLUX<sup>®</sup>-Behälter und Streckenkontur mit trockenem Salzgrus verfüllt wird, sobald der erste POLLUX<sup>®</sup>-Behälter mit HAW-Kokillen im Einlagerungsfeld Ost 1 in der ersten Einlagerungsstrecke abgelegt und die Einlagerungsmaschine in die benachbarte Strecke umgesetzt wurde. So wird nach jeder weiteren POLLUX<sup>®</sup>-Einlagerung verfahren, bis die Einlagerungsstrecke vollständig belegt und mit Versatzmaterial verfüllt ist. Durch das Versatzmaterial Salzgrus wird unmittelbar nach der Einlagerung der Hohlraum reduziert. Mit auflaufendem Gebirge entwickelt sich durch die Konvergenz des Salzgesteins im Versatz ein Gegendruck, der zur Stabilisierung des Gesamtendlagersystems beiträgt. Durch die Verwendung ausschließlich trockenen Versatzmaterials in den Einlagerungsfeldern entstehen keine korrosiven Bedingungen für den POLLUX<sup>®</sup>-Behälter. Die Querschläge werden, nachdem alle Strecken eines Einlagerungsfeldes gefüllt und mit Salzgrus versetzt wurden, ebenfalls vollständig mit trockenem Versatz verfüllt.

Zur Beschleunigung der Kompaktion des Versatzkörpers ist vorgesehen, dem Salzgrus für die Richt- und Transportstrecken eine geringe Menge Lösung beizugeben (max. 1 Gew.-%). Die möglicherweise über lange Zeiträume aus dem kompaktierenden Versatz austretende Feuchte könnte in die Einlagerungsstrecke zu den POLLUX<sup>®</sup>-Behältern gelangen. Deswegen wird das jeweilige Ende der Querschläge in Richtung nördlicher und südlicher Richtstrecke durch einen ca. 10 m langen Pfropfen aus Sorel-

beton A1 /TEC 11b/ verschlossen. Sorelbeton hat sich in Untersuchungen als langzeitbeständig gegenüber salinaren Lösungen erwiesen. Damit bleiben alle Strecken eines Einlagerungsfeldes vor möglichen Lösungszuflüssen aus Versatzfeuchte geschützt.

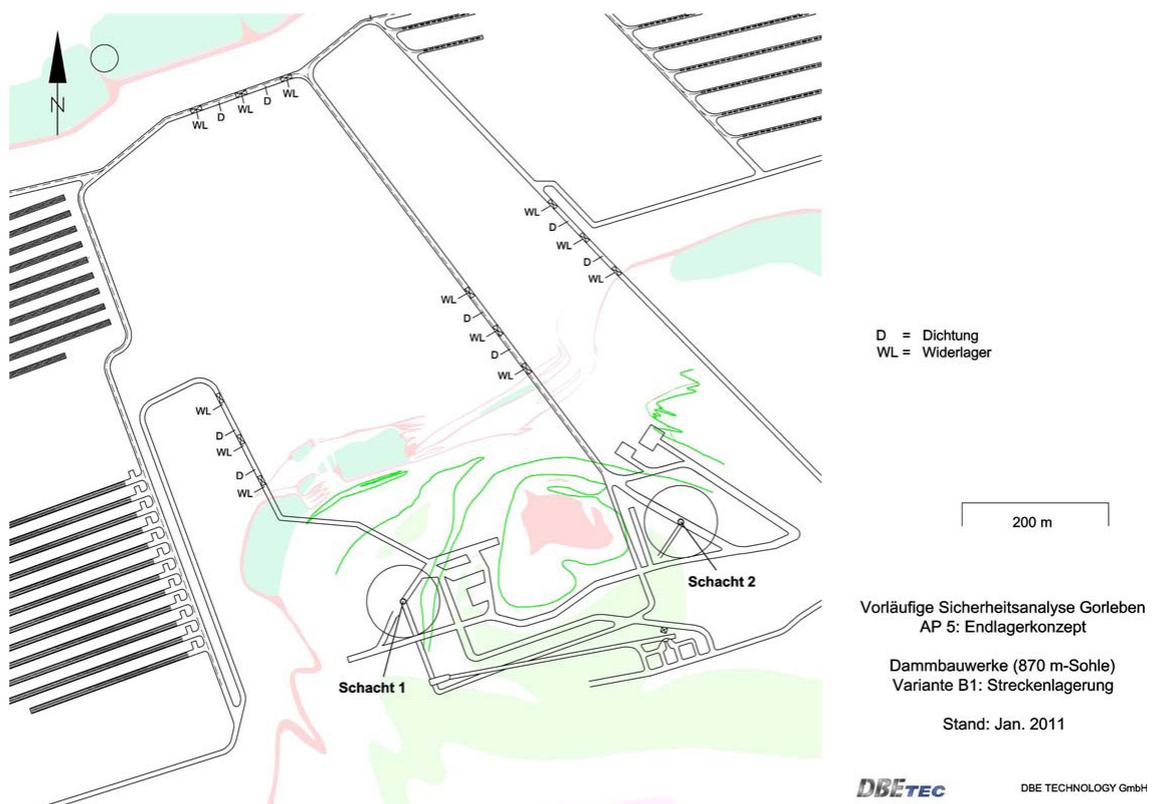
Als Einbringtechnik für das Salzgrusmaterial, das aus dem aufgefahrenen Haufwerk durch Absieben von Körnungen > 65 mm genommen wird, kommen sowohl Schleuderalso auch Blasversatztechnik in Betracht. Im Rahmen eines FuE-Vorhabens wurden unter in situ Bedingungen beide Verfahren der Versatzeinbringung in eine POLLUX<sup>®</sup>-Einlagerungsstrecke verglichen /DBE 87/. Dabei wurde festgestellt, dass die damit erzeugte Versatzkörperrgüte (Dichte und Verteilung der Dichte über Streckenhöhe) annähernd gleich war, ebenso die Staubentwicklung. Die Schleuderversatztechnik zeigte sich jedoch als beträchtlich flexiblere Methode. Mit einem Schleuderversatzfahrzeug konnte der Salzgrus gezielt neben oder auch oberhalb des POLLUX<sup>®</sup>-Behälters eingebracht werden. Deshalb wird für die Variante B1 die Schleuderversatztechnik gewählt. In größeren Kammern, wie sie für die Einlagerung von Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung vorgesehen sind (Variante A), könnte die Blasversatztechnik Vorteile haben. Hier muss nicht unmittelbar nach Einlagerung eines jeden Behälters Versatz eingebracht werden. Ein abschnittsweises Verfüllen ist technisch sinnvoller. Mit entsprechend positionierten, vormontierten Blasleitungen werden auch die Hohlräume zwischen der Kammerfirste und den Containern versetzt. Deshalb wird hierfür die Blasversatztechnik vorgeschlagen. Die ausgewählte Einbringtechnik ist in weiteren Planungen im Rahmen der Endlagerauslegung und Optimierung (Arbeitspaket 6) zu überprüfen.

Um die für die Phase nach Stilllegung des Endlagers gestellten Ziele des Sicherheitskonzeptes zu erreichen, sind geotechnische Barrieren an ausgewählten Punkten im Endlagerbergwerk vorgesehen. Die beiden Tagesschächte Gorleben 1 und 2 werden mit langzeitstabilen Materialien verfüllt und mit einem gestaffelten System von Trag- und Abdichtelementen gebaut. Die Konzeption, Auslegung und Nachweisführung dafür erfolgt im Rahmen der Arbeiten im Arbeitspaket 9.

Darüber hinaus werden als weitere geotechnische Barrieren sowohl auf der Erkundungssohle (840 m Teufe) als auch im Einlagerungshorizont (870 m Teufe) Streckenverschlüsse in den Zugangsstrecken zu den Schächten vorgesehen. Auf der Erkundungssohle sind dies der Querschlag West 1 und Ost 1, auf der Einlagerungsstrecke die Bergbautransportstrecken (Ost und West) sowie die Gebindedetransportstrecke (Querschlag Mitte). Die Position der Streckenverschlüsse ist im

älteren Steinsalz in möglichst kurzer Distanz zu den Schächten vorgesehen, jedoch mit hinreichendem Abstand der entsprechenden Abdichtelemente zu möglichen Störzonen (z. B. Anhydrit, Kaliflöz). In Abb. 7.1 sind die ausgewählten Positionen der Streckenverschlüsse für den Einlagerungshorizont (870 m Teufe) dargestellt.

Aufgrund der Forderung, dass die optional mit zu berücksichtigenden Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung (Variante A) aus Gründen der Langzeitsicherheit vollständig von den wärmeentwickelnden Abfällen getrennt werden sollen, ist ein zusätzlicher Streckenverschluss in der nördlichen Verbindungsstrecke zwischen dem Südwest- und Nordost-Flügel des Endlagerbergwerks vorgesehen. Die Streckenverschlüsse bestehen aus einer Kombination von Dichtelementen und statischen Widerlagern, die die Lagestabilität der Dichtelemente sichern sollen. Die Konzeption, Auslegung und Nachweisführung für die Streckenverschlüsse erfolgt ebenfalls im Rahmen der Arbeiten im Arbeitspaket 9.



**Abb. 7.1** Position Streckenverschlüsse auf 870 m-Sohle

Für als wenig wahrscheinlich betrachtete Endlagerentwicklungen in der Nachbetriebsphase ist ein partieller Ausfall der Dichtfunktion der Schachtverschlüsse nicht auszuschließen. Damit könnten in einem solchen Fall gesättigte Lösungen bis zum Einlage-

runghorizont vordringen. Diese Lösungen sollen an einem Vordringen zu den Streckenschlüssen gehindert werden. Deshalb ist vorgesehen, den Infrastrukturbereich in der Nähe der beiden Schächte 1 und 2 als mögliche Speicher für zutretende Lösungen einzurichten. Diese Grubenbaue werden deshalb – abweichend vom grundsätzlichen Prinzip des Verfüllens mit Salzgrus – mit langzeitstabilem Material (Serpentinit- oder Basaltschotter) verfüllt, so dass ein definierter Porenraum dauerhaft offen bleibt und als Pufferspeicher dienen kann. Die Standsicherheit des Bergwerkes wird dadurch nicht beeinträchtigt. Zum Bereich der Infrastruktur gehören alle größeren Grubenbaue in Schachtnähe, die während der Erkundung und des Endlagerbetriebs als Werkstätten, Lagerräume, Umschlagseinrichtungen (am Füllort), als Versatzbunker oder ähnliches genutzt wurden.

Im Endlagerkonzept für die Variante B1 ist vorgesehen, dass die Wetterführung allein auf der 870 m Sohle realisiert wird. Falls im Rahmen der weiteren Endlagerauslegung und Optimierungen (Arbeitspaket 6) festgestellt werden sollte, dass eine solche einschichtige Wetterführung nicht möglich ist, sind Wetterbohrungen zur Erkundungssohle zu stoßen. Diese müssen im Rahmen der Umsetzung des Verfüll- und Verschlusskonzeptes sukzessive verschlossen werden. Als Verschlussbaustoff wird analog zu den Verschlusspfropfen in den Querschlägen Sorelbeton A1 verwendet. Damit soll ein möglicher Pfad für Lösungen von der Erkundungssohle zum Einlagerungshorizont ausgeschlossen werden.

In der Tab. 7.1 sind für die zu verfüllenden Grubenbaue und für die Verschlussbauwerke vorläufig vorgesehene Materialien aufgeführt. Zu den Materialien wird zum Teil auf weitere Literatur für Detailangaben im Arbeitspaket 9.1.2 verwiesen. Die Massenberechnung für die zu verfüllenden Hohlraumvolumina des Grubengebäudes sind für die Variante B1 (Streckenlagerung) und Variante C (Bohrlochlagerung) im Detail ermittelt worden (s. Kapitel 1.1). Insgesamt sind im Einlagerungshorizont des Nordost-Flügels des Endlagerbergwerkes inkl. der Querschläge rund 824.000 m<sup>3</sup> Streckenhohlraum mit trockenem Salzgrus zu versetzen. Für den Südwest-Flügel beträgt das zu versetzende Hohlraumvolumen rund 150.000 m<sup>3</sup>. Hinzu kommen rund 110.000 m<sup>3</sup> Hohlraum im Infrastrukturbereich, der mit Schotter verfüllt wird, und rund 330.000 m<sup>3</sup> Hohlraum in den Richtstrecken, der mit angefeuchtetem Versatz versetzt wird. Die Erkundungssohle umfasst ein Hohlraumvolumen von insgesamt rund 600.000 m<sup>3</sup>; darin enthalten sind ca. 235.000 m<sup>3</sup> für den Infrastrukturbereich mit EB1 und rund 365.000 m<sup>3</sup> für die Richtstrecken Nord und Süd sowie die Querschläge. Die Verfüllung erfolgt analog zur

Vorgehensweise im Einlagerungshorizont. Die Technik und die Betriebsabläufe für den Streckenversatz sind im Kapitel 6 beschrieben.

**Tab. 7.1** Versatz- und Verfüllbaustoffe

Ort	Versatzmaterial	Verschlussmaterial	Materialkenndaten
Einlagerungsfelder Ost 1 – Ost 17	Salzgrus, trocken	./.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Körnung: bis 64 mm</li> <li>– Anfangsporosität: &lt; 35 %</li> </ul> (s. Materialspezifikation AP 9.1.2)
Einlagerungsfelder West 1 – West 3	Salzgrus, trocken	./.	
Querschläge	Salzgrus, trocken	ca. 10 m Verschlusspfropfen aus Sorelbeton A1 vor Übergang zur Richtstrecke	
Schächte	./.	Verfüllung von unten nach oben betrachtet. <ul style="list-style-type: none"> <li>– zwischen Schachtsumpf/ Einlagerungssohle und Sohlenniveau Erkundungssohle: Sorelbeton A1</li> <li>– im Füllortbereich Erkundungssohle: Basalt- oder Serpentin-Schotter</li> <li>– unteres Dichtelement und Widerlager im Schacht: Salzbeton</li> <li>– darüber verdichtetes Feuchtsalz (1,5 Gew. %)</li> <li>– darüber Basaltschotter (im unteren Bereich mit Zement verfestigt)</li> <li>– Salinardichtung oberhalb Basaltschotter mit Bentonit</li> </ul>	s. Materialspezifikation AP 9.1.2
Richtstrecke Nord	Salzgrus, angefeuchtet (0,5 bis 1,0 Gew. %)	./.	s.a. GRS-Protokoll zur Bespr. (2.11.2010) über Porositäts- und Permeabilitätsbeziehung
Richtstrecke Süd	Salzgrus, angefeuchtet (0,5 bis 1,0 Gew. %)	./.	s.a. GRS-Protokoll zur Bespr. (2.11.2010) über Porositäts- und Permeabilitätsbeziehung
Bergbautransportstrecke (Querschläge Ost)	Salzgrus, angefeuchtet (0,5 bis 1,0 Gew. %)	Streckenverschluss mit Kerndichtung und Widerlager aus Sorelbeton A1	s. Materialspezifikation AP 9.1.2
Bergbautransportstrecke (Querschlag Mitte)	Salzgrus, angefeuchtet (0,5 bis 1,0 Gew. %)	Streckenverschluss mit Kerndichtung und Widerlager aus Sorelbeton A1	s. Materialspezifikation AP 9.1.2
Bergbautransportstrecke (Querschlag parallel zu Querschlag West))	Salzgrus, angefeuchtet (0,5 bis 1,0 Gew. %)	Streckenverschluss mit Kerndichtung und Widerlager aus Sorelbeton A1	s. Materialspezifikation AP 9.1.2
Infrastrukturbereich	Serpentin- oder Basalt-Schotter vom Schachtfüllort bis zu den Streckenverschlüssen	./.	
Wetterbohrlöcher	./.	Sorelbeton A1	s. Materialspezifikation AP 9.1.2

### **7.2.2 Verfüll- und Verschlusskonzept für Variante B2**

Die Variante B2 unterscheidet sich von der Varianten B1 dadurch, dass im Nordost-Flügel des Endlagers die wärmeentwickelnden Abfälle nicht in POLLUX<sup>®</sup>-Behältern in horizontale Strecken eingelagert, sondern in Transport- und Lagerbehältern in einzelne, dafür hergestellte, horizontale Bohrungen geschoben werden (s. Kapitel 8). Insofern werden die einzelnen Behälter nicht mit Salzgrus versetzt, sondern nur die Begleitstrecken zu den Einlagerungsbohrlöchern. Der Ringraum von wenigen Zentimetern zwischen Einlagerungsbohrlochwand und Transport- und Lagerbehälter bleibt unversetzt und wird aufgrund des Wärmeeintrags durch Konvergenz kurzfristig verschlossen.

Im Verfüllkonzept ist für die Variante B2 deshalb vorgesehen, diese Begleitstrecken mit Salzgrus zu versetzen und deren Endbereiche ähnlich wie bei den Querschlägen in der Variante B1 mit Pfropfen aus Sorelbeton A1 zu verschließen. Damit soll sichergestellt werden, dass keine Feuchte aus dem angefeuchteten Versatz in den Richtstrecken zu den eingelagerten Endlagerbehältern gelangt.

Es werden keine zusätzlichen Anforderungen an das Verfüll- und Verschlusskonzept der Variante B2 gestellt. Deshalb wird für die Richtstrecken und die übrigen Grubenbaue das gleiche Verfüllkonzept wie bei der Variante B1 vorgesehen. Das gilt auch für die technischen Verschlussmaßnahmen, die Streckenverschlüsse und die Schachtverschlüsse. Auch hier gelten keine zusätzlichen Anforderungen. Eine separate Massenermittlung wurde nicht erstellt.

### **7.2.3 Verfüll- und Verschlusskonzept für Variante C**

Im Einlagerungskonzept der Variante C ist vorgesehen, dass im Nordost-Flügel des Endlagers die wärmeentwickelnden radioaktiven Abfälle entweder in Brennstabkokillen, oder Triple-Packs (oder modifizierten Brennstabkokillen) in tiefe, vertikale, unverrohrte Bohrlocher endgelagert werden. Damit unterscheidet sich dieses Konzept grundlegend von der Variante B1 (und B2-Differenzbetrachtung). Als Versatzmaterial für die Grubenhohlräume ist auch hier Salzgrus vorgesehen, das dieselben Funktionen wie in der Variante B1 erfüllen soll.

Nach der Einlagerung einer jeden Brennstabkockille oder eines Triple-Packs wird Salzgrus in das Bohrloch gefüllt, um den Ringraum zwischen Endlagerbehälter und Bohrloch zu füllen. Nach Einlagerung des letzten Endlagerbehälters in einem Bohrloch wird nicht nur der Ringraum, sondern auch das Bohrloch darüber über eine Länge von ca. 10 m vollständig mit Salzgrus verfüllt. Damit wird eine Abschirmung gegen ionisierende Strahlung der zuletzt abgelegten Endlagerbehälter erreicht. Langfristig wird der Salzgrus durch die Gebirgskonvergenz im Bohrloch kompaktiert und verschließt somit das Bohrloch. Dieser Kompaktionsprozess ist jedoch noch Gegenstand von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Als Alternative könnten zum langfristigen Verschluss des Bohrlochs auch vorgefertigte, passgenaue Salzkerne oder andere langzeitbeständige Verschlussmaterialien in Frage kommen. Auch diese Frage ist noch Gegenstand von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Im Rahmen der Vorläufigen Sicherheitsanalyse Gorleben wird hier eine Verfüllung mit Salzgrus angenommen.

Der über dem Bohrloch befindliche Bohrlochkeller wird ebenfalls mit Salzgrus verfüllt. Eine Überführung des Bohrlochkellers in der Betriebsphase bis zum abschließenden Verfüllen der Einlagerungsstrecke wird durch Sonderkonstruktionen (z. B. Stahlplatten), die kurz vor dem Einbringen des Versatzes beraubt werden, gewährleistet. Für diese Einlagerungsvariante wurde eine Massenermittlung der zu verfüllenden Gruben- hohlräume erstellt (s. Kapitel 1.1). Insgesamt sind im Einlagerungshorizont des Nordost-Flügels 460.000 m<sup>3</sup> Streckenhohlraum mit trockenem Salzgrus zu versetzen. 32.000 m<sup>3</sup> des Salzgruses bestehen aus trockenem, feinkörnigen (< 8 mm) Material, das zur Verfüllung des Bohrlochringraumes und des Bohrlochkellers benötigt wird. Für die Richtstrecken im Einlagerungshorizont sind 366.000 m<sup>3</sup> angefeuchteter Salzgrusversatz vorgesehen, für die Einlagerungssohle 141.000 m<sup>3</sup>. Die Infrastrukturbereiche werden, wie in Variante B1 beschrieben, mit langzeitstabilem Schotter verfüllt. Die Massen entsprechen denen der Variante B1. Für den Südwest-Flügel bleibt der zu versetzende Hohlraum, wie in Variante B1 beschrieben, unverändert.

Weitere zusätzliche Verfüll- und Verschlussmaßnahmen sind für die Variante C nicht vorgesehen. Alle anderen Maßnahmen sind, wie in Variante B1 beschrieben, geplant.



## **8 Transport- und Lagerbehälter – Differenzbetrachtung zur Streckenlagerung (Variante B2)**

Als Alternative zur Endlagerung der wärmeentwickelnden radioaktiven Abfälle in POLLUX®-Behältern (Variante B1) wird nachfolgend die Endlagerung von DWR-, SWR- und WWER-BE und von Wiederaufarbeitungsabfällen in Transport- und Lagerbehältern (Variante B1) in einer Differenzbetrachtung zur Streckenlagerung beschrieben.

Im Rahmen des Vorhabens „Untersuchung zur direkten Endlagerung von Transport- und Lagerbehältern (TLB)“ mit dem Akronym „DIREGT“ wird in einer Konzeptstudie /GNS 09/ seit dem Jahr 2006 die Machbarkeit der direkten Endlagerung von ausgedienten Brennelementen in TLB untersucht. In der dreiteiligen Konzeptstudie erfolgten bereits eine Grundlagenermittlung, die Planung des technischen Endlagerkonzeptes und die Ermittlung der notwendigen Anpassungsmaßnahmen für TLB als Endlagerbehälter. Die bisherigen Ergebnisse dieser Konzeptstudie sind im Folgenden zusammengefasst.

### **8.1 Konzeption der Transport- und Einlagerungstechnik**

Bei den TLB sieht die bisherige Konzeption vor, diese in der übertägigen Umladehalle vom Anlieferfahrzeug abzuheben, aufzurichten und auf einen Plateauwagen umzuladen. Der beladene Plateauwagen wird in den Schacht bzw. den Förderkorb eingefahren. Bei der Umladung der TLB vom Anlieferfahrzeug auf den Plateauwagen werden auch die Stoßdämpfer von den TLB entfernt. Im Förderkorb wird der stehende TLB in die Schachtförderanlage übernommen und ohne Plateauwagen vertikal hängend von über nach unter Tage gefördert. Unter Tage wird der TLB auf einen Plateauwagen abgestellt, aus dem Förderkorb herausgefahren, in eine horizontale Position gebracht und auf den Streckentransportplateauwagen abgelegt. Nach dem Streckentransport wird der TLB mit Hilfe der Einlagerungsvorrichtung in ein horizontales Bohrloch eingeschoben. Eine Schachtförderanlage mit Nutzlasten bis zu 160 t ist nicht Stand der Technik und muss neu entwickelt werden. Im Rahmen von weiterführenden Untersuchungen des Vorhabens DIREGT /GNS 09/ soll ein Konzept für eine solche Förderanlage entwickelt werden.

Im Rahmen einer Konzeptstudie wurden verschiedene Varianten zur Einlagerung von TLB in kurzen Bohrlöchern betrachtet. Für die Auslegung der Komponenten für die Transport- und Einlagerungstechnik sind die in Tab. 8.1 dargestellten Daten zu den Referenzbehältern CASTOR® V/19 und CASTOR® HAW 20/28 CG zugrunde gelegt worden. Für die Projektierung wurden jeweils die maximalen, grau hinterlegten Werte herangezogen.

**Tab. 8.1** Daten der Endlagerbehälter (Referenzbehälter) der Variante B2 zur Auslegung der Komponenten für die Transport- und Einlagerungstechnik

	CASTOR® V/19	CASTOR® HAW 20/28 CG
Gewicht	124 Mg	110 Mg
Länge	5.867 mm	5.933 mm
Durchmesser (Behältermantel)	2.436 mm	2.330 mm
Zapfenaußenmaß	2.395 mm	2.480 mm

Im Rahmen der Konzeptplanung wurden Alternativen zur Einlagerung von TLB untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass zur Ableitung der Wärmeleistung möglichst direkter Kontakt zum Wirtsgestein vorteilhaft im Hinblick auf Einhaltung der Grenztemperatur von 200 °C und im Hinblick auf einen geringen Raumbedarf im Endlager ist. Die bisherige Konzeption sieht deshalb vor, TLB in horizontal ausgeführten Bohrlöchern mit einer Einschubvorrichtung einzulagern. Die Zugangsstrecke zu den Einlagerungsbohrungen – die sogenannte Begleitstrecke – wird zu diesem Zweck in regelmäßigen Abständen erweitert, um zum einen Platz zu schaffen für die Einschubvorrichtung und zum anderen für eine Bohranlage. Vom Zentralpunkt der Erweiterung werden jeweils rechtwinklig zur Streckenachse zwei Einlagerungsbohrungen gegenüberliegend angeordnet.

Für die Einlagerung des TLB in die Bohrlöcher ist ein Plateauwagen mit einer Schubeinheit vorgesehen, die den TLB vom Plateauwagen in das Bohrloch hineindrückt. Zur Verhinderung von Aufschabungen im Bohrloch und zur Gewährleistung kontinuierlicher Schubkräfte werden dort Gleitsteine eingesetzt.

Der Gleisabschnitt im Bereich des Einlagerungsbohrortes ist beweglich gelagert. Nach dem Drehscheibenprinzip wird dieser Gleisabschnitt (im folgenden Drehscheibe genannt) mit dem beladenen Plateauwagen zu einer der Einlagerungsbohrungen entweder konventionell oder auf Luftkissen geschwenkt. Ein Drehlager im Zentralpunkt des

Gleisabschnittes gewährleistet die erforderliche achsenparallele Positionierung vor der jeweiligen Bohrlochmündung. Die erforderliche Schwenkarbeit ist gering und kann über eine mobile Winde aufgebracht werden.

Die Drehscheibe besteht aus einer Trägerlage, unter der 6 Luftkissenelemente in gleichmäßigem Abstand und symmetrisch angeordnet sind. Auf der Trägerlage sind die Plateauwagengleise montiert. Wird den Luftkissen keine Druckluft zugeführt, liegt das Chassis der Luftkissenelemente starr auf der Sohle der Begleitstrecke auf. In diesem Zustand erfolgen Transportvorgänge auf dem Gleis und Einlagerungsvorgänge. Bei Beaufschlagung mit Druckluft zur Einleitung eines Schwenkvorganges wird die Drehscheibe und somit der Plateauwagen mit dem Behälter ca. 50 mm angehoben.

Die Schubvorrichtung zum Einschieben des TLB besteht aus zwei parallel angeordneten Hydraulikzylindern mit teleskopierbaren Kolben. Für den erforderlichen Einschub des TLB in die Einlagerungsbohrung wird aufgrund des begrenzten Hubes der Schubzylinder des Lagerbocks, falls erforderlich, durch einen Schreitvorgang nachgeführt. Die Reaktionskräfte durch den Einschubvorgang werden durch zwei Hydraulikstützstempel, die an der bohrlochabgekehrten Stirnseite im Chassis des Plateauwagens gelagert sind, in das Gebirge abgeleitet. Die hydraulische Energie wird von einer bordeigenen Antriebseinheit des Plateauwagens erzeugt und die elektrische Energie von einer mobilen Trafostation über eine Steckverbindung dem Plateauwagen zugeführt. Die Steuerbefehle werden von einer mobilen Steuerung zu der Drehscheibe und zu dem Plateauwagen übermittelt. Ein elektromechanischer Vorschubantrieb zur Verringerung von Brandlasten scheidet auf Grund des höheren Einbauvolumens aus. Die Hydraulikanlage sollte aus diesem Grunde mit schwer entflammbarer Hydraulikflüssigkeit (z. B. Wasserhydraulik) betrieben werden.

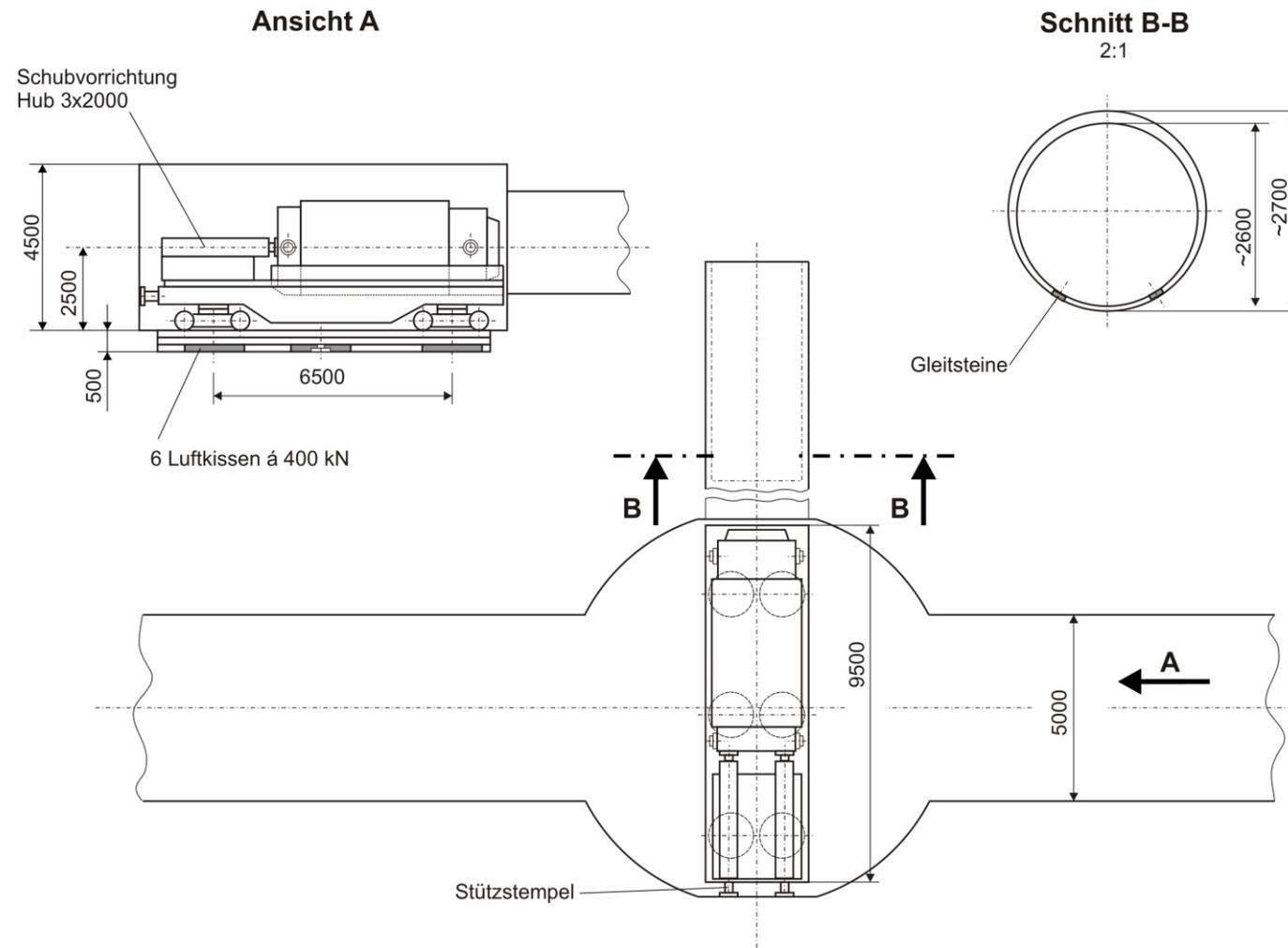
Zum Standortwechsel der demontierbaren Drehscheibe wird ein mobiler Portalstapler eingesetzt.

Technische Daten der Einschubvorrichtung (ca.-Werte):

- Länge des Plateauwagens: 9.500 mm
- Hubkraft pro Luftkissen: 400 kN
- Druckkraft der Schubeinheit: 150 kN
- max. Hub der Schubeinheit: 6.000 mm

Für den Einschubvorgang ist der Nachweis der technischen Machbarkeit erforderlich. Für die Luftkissenteknik erübrigt sich ein Nachweis, da sie sich als fördertechnisches System in diesen Lastbereichen bewährt hat.

In Abb. 8.1 ist das gewählte Einlagerungskonzept für Transport- und Lagerbehälter prinzipiell dargestellt. Im unteren Teil der Darstellung wird in einer Draufsicht der Einlagerungsort mit Einschubvorrichtung und vorbereiteter Einlagerungsbohrung gezeigt. Im oberen Teil sind der Querschnitt der Einlagerungsbohrung und die Einschubvorrichtung dargestellt. Der Querschnitt der Begleitstrecken wurde mit ca. 25 m<sup>2</sup> ermittelt.



**Abb. 8.1** Prinzipskizze zum Konzept der Einlagerung von TLB in horizontale Bohrlöcher

## 8.2 Ermittlung/Abschätzung der erforderlichen Feldesgröße

Für die Konzeption der Einlagerung von TLB in waagrecht ausgeführte Bohrlöcher wurde die erforderliche Feldesgröße mit Behälter- und Streckenabständen unter Berücksichtigung der vorgenannten Einlagerungstechnik auf Grundlage thermischer Berechnungen abgeschätzt. Für diese Abschätzung wurde unterstellt, dass ausschließlich CASTOR® V/19 mit einer Beladung von 17 DWR-U-BE und 2 DWR-MOX-BE mit 60 GWd/t Abbrand nach einer Abklingzeit von 43 Jahren eingelagert werden. Dafür ergeben sich folgende Auslegungsdaten:

– Behälterabstand $d_1$ vertikal:	28 m
– Behälterabstand $d_2$ vertikal:	31 m
– Streckenabstand $a_s$ horizontal:	25 m
– Fläche einer durchschnittlichen Einlagerungszelle (Behälter und umgebendes Wirtsgestein)	811 m <sup>2</sup>

Ein Einlagerungsfeld wurde in der vorliegenden Konzeption als ein Feld mit parallel zueinander angeordneten Einlagerungsstrecken definiert. In Abb. 8.2 ist ein Endlagerfeld mit einer theoretisch denkbaren Anordnung von 70 TLB dargestellt. Bestimmend für die Größe eines realen Einlagerungsfeldes sind bergbauliche, sicherheitstechnische und langzeitsicherheitliche Anforderungen hinsichtlich notwendiger Sicherheitsabstände.

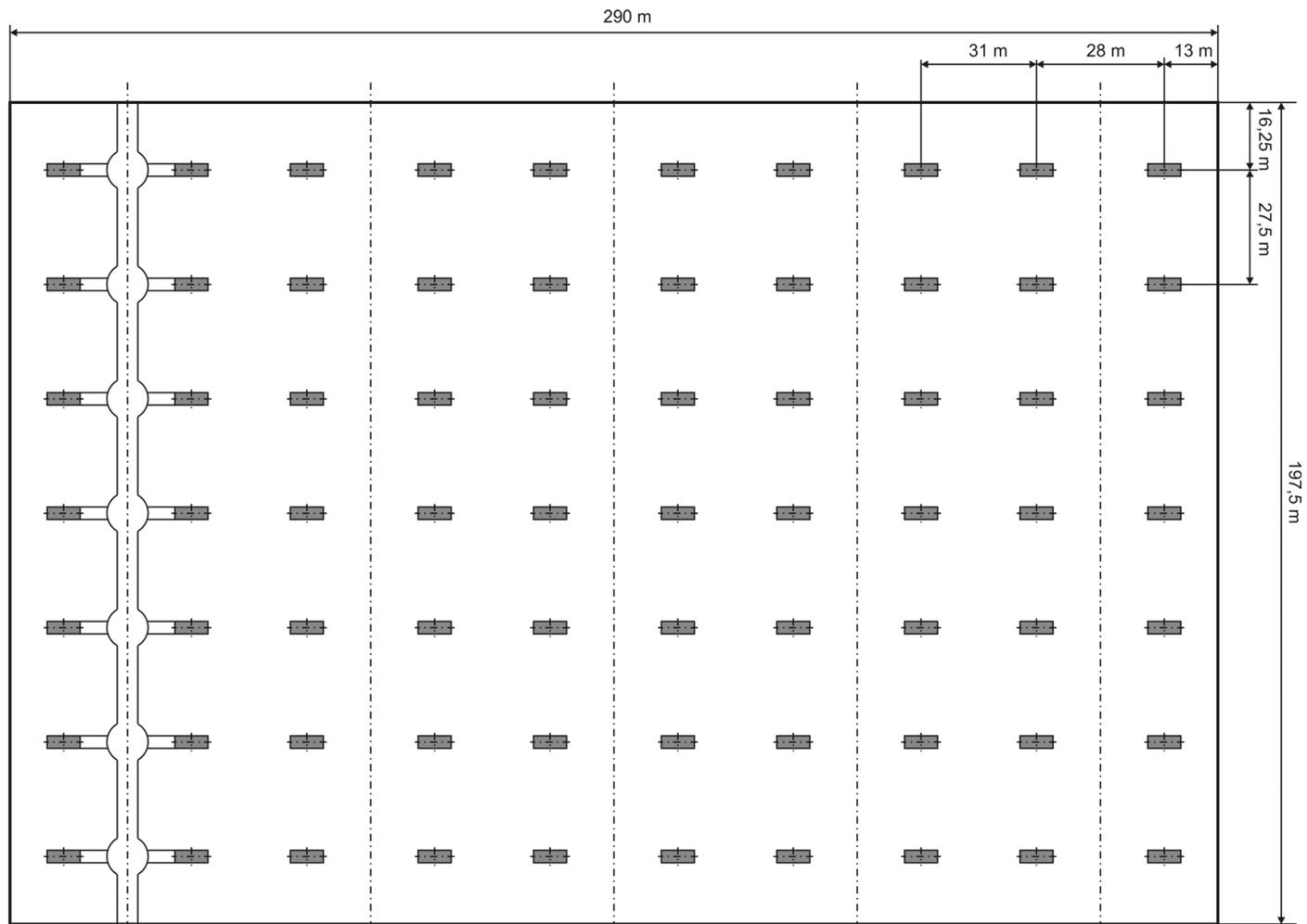


Abb. 8.2 Einlagerungsfeld für 70 TLB

Im Rahmen der bisher durchgeführten Konzeptstudie wurde festgestellt, dass sich Anpassungsmaßnahmen an die betrachteten Referenzbehälter (CASTOR<sup>®</sup> V/19 und CASTOR<sup>®</sup> HAW 20/28 CG) für die Endlagerung aus dem Nachweis der Unterkritikalität und dem Nachweis der Integrität unter Endlagerungsbedingungen ergeben können. Mit den bisher vorliegenden Untersuchungsergebnissen liegt noch kein abschließender Nachweis der Unterkritikalität bei der direkten Endlagerung von ausgedienten Brennelementen in CASTOR<sup>®</sup> V/19 vor. Es wird die Verfüllung des Behälterschachts mit abgereichertem Uranoxid oder anderem nicht moderierendem Material, z. B. Magnetit, oder der Einsatz von gadoliniumhaltigen Steuerstäben in den Leerstellen der Brennelemente vorgeschlagen. Darüber hinaus liegen noch keine belastbaren Aussagen zu Standzeiten der TLBs unter Endlagerbedingungen vor.

### **8.3 Weiterführende Arbeiten**

Im Anschluss an die bisherigen Konzeptarbeiten wurde mit den Arbeiten zum zweiten Teil der Konzeptstudie begonnen. Hier soll der Nachweis der technischen Realisierbarkeit der Endlagerung von TLB mit folgenden Schwerpunkten erfolgen:

- Realisierbarkeit der Schachtförderanlage, Realisierbarkeit des Streckentransportes und der Einlagerung unter Tage für TLB bis 160 t
- Weiterführung der Ermittlung der Kritikalitätssicherheit in der Nachbetriebsphase
- Ermittlung des Wasser- und Lösungsangebotes im älteren Steinsalz
- Weiterführung der Untersuchungen zu Korrosionsfragen des CASTOR<sup>®</sup>-Behältersystems
- Technische Bewertung der direkten Endlagerung von TLB bis 160 t

Der derzeitige Bearbeitungsstand der technischen Konzeption weist darauf hin, dass die direkte Endlagerung der TLB technisch möglich sein wird. Insofern soll in einer weiteren Teiluntersuchung des Vorhabens DIREGT /GNS 09/ auch der Nachweis der Genehmigungsfähigkeit untersucht werden.

## 9 Stilllegung und Rückbau

Die Stilllegung eines Endlagers umfasst nach /BMU 10/ alle Maßnahmen, die nach der Einstellung der Einlagerung getroffen werden. Dazu gehört auch der Verschluss des Endlagers zur Herstellung eines wartungsfreien Zustandes, der die Langzeitsicherheit des Endlagers gewährleistet. Gemäß dieser Definition können zur Stilllegung auch Maßnahmen gehören, die während der Betriebsphase durchgeführt wurden (z. B. Verschlussbauwerke für befüllte Einlagerungsbereiche).

Am Ende der Einlagerungs- und Verfüllphase, wenn bereits alle Grubenhohlräume in den Einlagerungsfeldern, den Querschlägen und Richtstrecken versetzt worden sind, beginnen die Rückbaumaßnahmen in den verbliebenen Endlagerbereichen wie Infrastrukturbereich, Zugangstrecken zum Schacht und in den Schächten selber. Im Zuge des Endlagerbetriebes werden bereits Rückbaumaßnahmen sukzessive umgesetzt. Dazu gehört z. B. der Rückbau der Bewetterungseinrichtungen und der Energieversorgung in den Einlagerungsbereichen, sobald diese nicht mehr benötigt werden.

Am Ende der Einlagerungsphase, wenn alle Einlagerungsfelder belegt und mit Versatzmaterial verfüllt sind, werden auch die zum Transport und zur Einlagerung genutzten Maschinen und Fahrzeuge sowie sämtliche Bergbaumaschinen und Geräte, die zur Herstellung und Instandhaltung des Grubengebäudes genutzt wurden, aus dem Grubengebäude nach über Tage gefördert. Die Infrastrukturräume wie Werkstätten und Lager werden leer geräumt und die Maschinen und Einrichtungen nach über Tage gefördert. Nur die Maschinen und Geräte, die noch für die Herstellung der Verschlussbauwerke in den Zugangstrecken benötigt werden, bleiben bis zum Abschluss dieser Arbeiten im Endlagerbergwerk. Danach werden auch diese nach über Tage gefördert. Zum Schluss wird auch der Schacht von allen Einrichtungen frei geräumt, so dass vom Sumpf des Schachtes beginnend der Schacht mit Ausrüstungen von über Tage verfüllt und die Abdichtelemente und notwendigen sonstigen Bauelemente eingebracht werden können.

Nach Abschluss der Schachtverfüllung beider Schächte werden die Tagesanlagen sukzessive zurückgebaut.



## 10 Identifizierung von notwendigen FuE-Arbeiten

Im vorliegenden Bericht wurden grundlegende technische Konzepte für die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle und optional auch für die Endlagerung von Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung hergeleitet und beschrieben. In diesem Zusammenhang kamen Fragestellungen auf, für die weitergehende Untersuchungen, die über den Zeit- und Kostenrahmen der Vorläufigen Sicherheitsanalyse GORleben hinausgehen, als notwendig erachtet werden. Im Folgenden sind diese Themenbereiche zusammenfassend beschrieben.

### Endlagerbehälter

Für die zu berücksichtigende Art und Menge von wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen wurden in der Konzeption Endlagerbehälter ausgewählt, die geeignet erscheinen, die an sie gestellten Anforderungen zu erfüllen. Für keinen dieser Behälter gibt es bisher genehmigungsreife Planungen oder bereits erteilte Zulassungen. Insofern wird es als notwendig angesehen, für die betrachtete

- Variante B1: POLLUX<sup>®</sup>-10, POLLUX<sup>®</sup>-9;
- Variante C: Brennstabkokillen (BSK),  
Triple-Packs (modifizierte Brennstabkokillen);
- Variante B2: Transport- und Lagerbehälter (CASTOR<sup>®</sup>-Behälter)

die Behälterplanungen dahingehend weiterzuführen, dass die Genehmigungsreife erreicht wird.

In den Sicherheitsanforderungen für die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle wird gefordert, dass 500 Jahre nach Schließung des Endlagers eine Handhabung der Behälter und damit eine Bergung (als Notfallmaßnahme) möglich sein muss. Insofern sind zukünftige Untersuchungen an Endlagerbehältern bzw. deren Weiterentwicklung auch dahingehend zu führen, dass die Handhabbarkeit für einen solchen Zeitraum gewährleistet bleibt. Diese Aufgaben können nicht im Rahmen der VSG gelöst werden.

### Transport- und Einlagerungstechnik

Die Genehmigungsfähigkeit von Transport- und Einlagerungstechniken für Endlagerbehälter für wärmeentwickelnde Abfälle (POLLUX<sup>®</sup>-Behälter für Variante B1) und Brennstabkokillen (für Variante C) wurde im Rahmen von Demonstrationsversuchen in

übertägigen Anlagen grundsätzlich gezeigt. Die Zulässigkeit der Übertragung aller dabei erzielten Ergebnisse auf Verhältnisse in einem Endlagerbergwerk im Salzgestein steht noch aus und wäre durch ein gezieltes in-situ Untersuchungsprogramm zu überprüfen. Für den Transport und die direkte Einlagerung von Transport- und Lagerbehälter (Variante B2: Differenzbetrachtung zur POLLUX<sup>®</sup>-Einlagerung) werden derzeit konzeptionelle Planungen angestellt. Die Genehmigungsreife eines solchen Einlagerungskonzeptes muss im Rahmen weiterer Planungen und Demonstrationsprojekten untersucht werden. Auch die Bearbeitung dieser Aufgabenstellung ist nicht in der VSG vorgesehen.

### **Verfüll- und Verschlussmaßnahmen**

Die Verfüllung der Grubenbaue im Endlagerbergwerk ist grundsätzlich mit arteigenem Salzgrus vorgesehen. In den Einlagerungsstrecken und -feldern soll dieser trocken in den sonstigen Strecken und Grubenbauen angefeuchtet (ca. 1 Gew.-%) eingebracht werden. Während für den trockenen Einbau bereits in-situ Versuche durchgeführt wurden, gibt es solche für feuchten Versatz in Deutschland noch nicht. Bei solchen Untersuchungen sind zum einen Befeuchtungs- und Einbringverfahren zu entwickeln und zu erproben (ggf. zu optimieren) und zum anderen die thermo- und hydromechanischen Prozesse zu untersuchen und zu beschreiben. Insbesondere die Entwicklung der Porosität und Permeabilität des Salzgrusversatzkörpers über die Zeit ist für das Prozessverständnis von Bedeutung.

Für die Grubenbaue im Infrastrukturbereich ist eine Verfüllung mit Basalt- respektive Serpentin-Schotter vorgesehen. Auch hierfür sind optimierte Einbringverfahren zu entwickeln und zu erproben.

Als Verschlüsse sind Streckenverschlussbauwerke in den Hauptzugangsstrecken zum Endlagerbergwerk und Schachtverschlussbauwerke in den beiden Tagesschächten vorgesehen. Für beide Arten von Verschlussbauwerken kann auf Planungen und zum Teil auf erprobte Komponenten solcher Bauwerke im Rahmen der Stilllegung des ERA Morsleben und der Asse zurückgegriffen werden. Offene Fragen ergeben sich im Bereich des qualitätsgesicherten Einbaus der verschiedenen Baustoffe insbesondere bei den Schachtverschlüssen. Hinzu kommen auch verfahrenstechnische Herausforderungen für den Einbau im Rückbauverfahren. Wie schon bei den vorgenannten Themen erwähnt, handelt es sich auch hier um Aufgabenstellungen, die über die VSG hinausgehen.

Im Rahmen der VSG wird keine der drei Aufgaben gelöst. Dies ist zum einen bereits Gegenstand von FuE-Arbeiten (REPOPERM /KRÖ 09/), zum anderen sind es neue Themen für FuE-Vorhaben.

### **Bergbauliche Fragestellungen**

Bei der Konzeption der Grubenbaue wurde deutlich, dass insbesondere für die Variante C (Bohrlochlagerung) das Teufen von tiefen vertikalen Bohrungen und ggf. der Einbau von Verrohrungen zur Gewährleistung einer Rückholung endgelagerter Endlagerbehälter zu erproben sind.



## Literaturverzeichnis

- /ABU 96/ Allgemeine Bergverordnung über Untertagebetriebe, Tagebaue und Salinen im Oberbergamtsbezirk Clausthal-Zellerfeld (ABVO), 1996.
- /ABV 09/ Bergverordnung für alle bergbaulichen Bereiche (Allgemeine Bundesbergverordnung - ABergV), in der Fassung vom 23. Oktober 1995 (BGBl. I S. 1466), zuletzt geändert durch Artikel 22 des Gesetzes vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585).
- /ATG 10/ Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz - AtG) vom 23. Dezember 1959 (BGBl. I S.814), in der Fassung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 8. Dezember 2010 (BGBl. I S. 1817).
- /BBG 09/ Bundesberggesetz (BBergG) vom 13. August 1980 (BGBl. I S. 1310), zuletzt geändert durch Artikel 15a des Gesetzes vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S.2585).
- /BFS 90/ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Fortschreibung des zusammenfassenden Zwischenberichtes über bisherige Ergebnisse der Standorterkundung Gorleben vom Mai 1983. Bericht ET-2/90: Salzgitter, April 1990.
- /BLA 89/ Blase, G., Potthoff, A., Ochs, F., Uhlenbecker, F.W.: Gebirgsmechanische Beobachtungen in Salzstöcken Norddeutschlands. Kali und Steinsalz, Vol. 10, No. 6, S. 174-181, 1989.
- /BMU 10/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle. Bonn, Stand: 30. September 2010.
- /BRE 95/ Brennecke, P.: Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle (Endlagerungsbedingungen, Stand: Dezember 1995), - Schachanlage Konrad. Interner Bericht ET-IB-79, Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Salzgitter, Dezember 1995.

- /COM 84/ Come, B., Venet, P.: Thermal loading effects on geological disposal. In: Radioactive Waste Management (Proc. Symp. Seattle, 1984), Vol. 3, 375 Seiten, Report IAEA-eN-43/430, International Atomic Energy Agency (IAEA): Vienna, August 1984.
- /DBE 87/ Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (DBE): Auswahl eines Versatzverfahrens für die Streckenlagerung von POLLUX®-Behältern. DEABT 8: Peine, Oktober 1987.
- /DBE 89/ Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (DBE): Systemanalyse Mischkonzept, Übertragung der Planungsergebnisse auf das Arbeitsmodell zum strukturellen Aufbau des Salzstocks Gorleben. Technischer Anhang 10: Peine, Oktober 1989.
- /DBE 91/ Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (DBE): Direkte Endlagerung ausgedienter Brennelemente DEAB (KWA 3602 2), Thermische Simulation der Streckenlagerung. Abschlussbericht zur Phase II, DEAB T 37: Peine, Juli 1991.
- /DBE 93/ Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (DBE): Grubengebäudeplanungen und Temperaturfeldberechnungen für das Arbeitsmodell zum strukturellen Aufbau des Salzstocks Gorleben. DEAB (02E 8201), DEAB T 56: Peine, 1993.
- /DBE 95a/ Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (DBE): Untersuchungen zur Rückholbarkeit von eingelagertem Kernmaterial in der Nachbetriebsphase eines Endlagers. DEAB T 57: Peine, Februar 1995.
- /DBE 95b/ Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (DBE): Direkte Endlagerung ausgedienter Brennelemente DEAB (02 E 8201), Einlagerungstechnik für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung. DEAB T 51: Peine, Oktober 1995.

- /DBE 95c/ Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (DBE): Direkte Endlagerung ausgedienter Brennelemente DEAB (02 E 8191), Handhabungsversuche zur Streckenlagerung. Abschlussbericht, Hauptband, DEAB T 60: Peine, September 1995.
- /DBE 98/ Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (DBE): Aktualisierung des Konzeptes "Endlager Gorleben". Abschlussbericht: Peine, 1998. (unveröffentlicht)
- /DON 89/ Donnerstag, H., Harnack, K., Thomauske, B., Wosnik, G.: Endlager für radioaktive Abfälle Gorleben - Vorstudie zum Konzept. Interner Arbeitsbericht PTB-SE-IB-24, Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB): Braunschweig, Juli 1989.
- /GNS 09/ GNS Gesellschaft für Nuklear-Service mbH: Disposal of Spent Fuel From German Nuclear Power Plants, Proceedings ICEM 2009: Liverpool, 2009.
- /GNS 10a/ GNS Gesellschaft für Nuklear-Service mbH: Produktdatenblätter für verschiedene Transport- und Lagerbehälter für ausgediente Brennelemente und Abfälle aus der Wiederaufbereitung ausgedienter Brennelemente. Übermittelt per E-Mail im Zeitraum September bis Dezember 2010.
- /GNS 08/ GNS Gesellschaft für Nuklear-Service mbH: Transport- und Lagerbehälter TN 85. [HTML], Stand vom 2008, erreichbar unter:  
<http://www.gns.de/language=de/2181/transport-und-lagerbehaelter-tn-85>, zitiert am 5.11.2010.
- /GNS 10b/ GNS Gesellschaft für Nuklear-Service mbH: Darstellung der getroffenen Entsorgungsmaßnahmen für die nach Deutschland zurückzuführenden radioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung bestrahlter Brennelemente in den Anlagen der AREVA NC in La Hague (F) und der Sellafield Ltd. (UK), Stand: 31.12.2009. GNS B 003/2010, Rev. 0, 13.01.2010.

- /ISI 08/ Bollingerfehr, W., Filbert, W., Pöhler, M., Tholen, M., Wehrmann, J.: Konzeptionelle Endlagerplanung und Zusammenstellung des endzulagernden Inventars, Überprüfung und Bewertung des Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HAW (Projekt ISIBEL), Arbeitspaket AP 1.2. FKZ 02 E 10065, 176 Seiten, DBE TECHNOLOGY GmbH: Peine, April 2008.
- /KFK 89/ Kernforschungszentrum Karlsruhe (KFK): Systemanalyse Mischkonzept, Hauptband, zusammengestellt von der Projektgruppe Andere Entsorgungstechniken. Karlsruhe, Dezember 1989.
- /KRÖ 09/ Kröhn, K.-P., Stührenberg, D., Herklotz, M., Heemann, U., Lerch, C., Xie, M.: Restporosität und -permeabilität von kompaktierendem Salzgrus-Versatz, REPOPERM - Phase 1. Abschlussbericht, GRS-254, ISBN 978-3-939355-29-8, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), DBE TECHNOLOGY GmbH, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH: Braunschweig, September 2009.
- /KTA 99/ Kerntechnischer Ausschuss (KTA): Sicherheitstechnische Regel des KTA, Auslegung von Hebezeugen in Kernkraftwerken. KTA 3902, Fassung 6/1999, 1999.
- /MIN 10/ Minkley, W., Popp, T.: Sicherheitsabstände zur vorläufigen Dimensionierung eines untertägigen Endlagers für wärmeentwickelnde Abfälle im Salzgebirge. Institut für Gebirgsmechanik (IfG) GmbH: Leipzig, Oktober 2010.
- /MSC 11/ McStocker, M., Ewig, F., Gründler, D., Havenith, A., Kettler, J., Peiffer, F., Thomaske, B.: Abfallspezifikation und Mengengerüst. Bericht zum Arbeitspaket 3, Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH: Köln, September 2011.
- /NSE 10/ nse - international nuclear safety engineering GmbH: Schreiben vom 23.12.2010 und 07.12.2010. E-Mail vom 07.12.2010.

- /REI 96/ Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI), Rundschreiben des BMU vom 30.06.1993 (GMBI. 1993, S. 502) in Verbindung mit Anhang B und C zur REI (GMBI. 1996, S. 195).
- /STV 08/ Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV), in der Fassung vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714; 2002 I S. 1459), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 29. August 2008 (BGBl. I S. 1793).
- /TEC 10/ DBE TECHNOLOGY GmbH: Optimization of the Direct Disposal Concept by Emplacing SF Canisters in Boreholes. Abschlussbericht zum FuE-Vorhaben "Optimierung der Direkten Endlagerung durch Kokillenlagerung in Bohrlöchern": Peine, Juni 2010.
- /TEC 11a/ DBE TECHNOLOGY GmbH: FuE-Vorhaben "Status quo der Lagerung ausgedienter Brennelemente aus stillgelegten / rückgebauten deutschen Forschungsreaktoren und Strategie (Lösungsansatz) zu deren künftigen Behandlung / Lagerung", Projekt LABRADOR. Entwurf des Abschlussberichtes: Peine, 2011. (unveröffentlicht)
- /TEC 11b/ DBE TECHNOLOGY GmbH: Materialspezifikation für Arbeitspaket 9.1.2. Arbeitspaket AP 9, Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben: Peine, 2011.
- /WTI 06/ Wissenschaftlich Technische Ingenieurberatung GmbH (WTI): CASTOR KNK, Zusammenfassende Darstellung der Behälterinventare. S. 4, 5, 7, Anhang 1-4, WT1/98/05, Revision 1, Januar 2006.



## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1	Angenommene geologische Struktur des Erkundungshorizontes (840 m Tiefe) am Standort Gorleben mit eingezeichnetem Sicherheitsabstand (blaue Linie).....	4
Abb. 2.1	POLLUX <sup>®</sup> -Behälter, mit gezogenen Brennstäben aus 10 DWR-BE (POLLUX <sup>®</sup> -10).....	16
Abb. 2.2	CASTOR <sup>®</sup> THTR/AVR mit zwei Stahlkannen für AVR-BE und mit einer Stahlkanne für THTR-BE (links) und CASTOR <sup>®</sup> KNK mit Phenix-Büchsen (rechts) /TEC 11a/ (Angaben in mm).....	18
Abb. 2.3	CASTOR <sup>®</sup> MTR 2 /TEC 11a/ .....	19
Abb. 2.4	CASTOR <sup>®</sup> V/19 (Quelle: /GNS 10a/).....	25
Abb. 2.5	CASTOR <sup>®</sup> V/52 (Quelle: /GNS 10a/).....	26
Abb. 2.6	CASTOR <sup>®</sup> 440/84, Behälter und Tragkorb (Quelle: /GNS 10a/) .....	27
Abb. 2.7	CASTOR <sup>®</sup> HAW 20/28 CG (Quelle: /GNS 10a/).....	28
Abb. 2.8	TS 28 V (Quelle: /GNS 10a/) .....	28
Abb. 2.9	TN 85 (Quelle: /GNS 10a/).....	29
Abb. 2.10	CASTOR <sup>®</sup> HAW 28 M (Quelle: /GNS 10a/) (Angaben in mm).....	30
Abb. 2.11	Brennstabkille (BSK) (Angaben in mm).....	33
Abb. 2.12	Triple-Pack (Angaben in mm) .....	34
Abb. 2.13	Modifizierte BSK (Angaben in mm) .....	35
Abb. 2.14	Betonbehälter Typ I .....	40
Abb. 2.15	Betonbehälter Typ II .....	40
Abb. 2.16	Gussbehälter Typ I .....	41

Abb. 2.17	Gussbehälter Typ II .....	41
Abb. 2.18	Gussbehälter Typ III .....	42
Abb. 2.19	Konrad Container Typ I.....	42
Abb. 2.20	Konrad Container Typ II.....	42
Abb. 2.21	Konrad Container Typ III.....	43
Abb. 2.22	Konrad Container Typ IV .....	43
Abb. 2.23	Konrad Container Typ V .....	43
Abb. 2.24	Konrad Container Typ VI .....	44
Abb. 2.25	Konrad Container Typ VII .....	44
Abb. 2.26	Prinzipdarstellung der Tauschpalette in a) Querschnitt und b) Längsschnitt .....	45
Abb. 2.27	Prinzipdarstellung der Transportpalette mit Haube .....	46
Abb. 3.1	Tagesanlagen Endlager Gorleben .....	54
Abb. 3.2	Umschlagsanlage .....	60
Abb. 3.3	Prinzipskizze einer Schachtbeschickungsanlage .....	68
Abb. 4.1	Profil der Richtstrecke Nord und der Querschläge Variante B1 Streckenlagerung und Variante A (Angaben in mm) .....	75
Abb. 4.2	Querschnittsprofil der Richtstrecke Süd (Angaben in mm).....	75
Abb. 4.3	Querschnittsprofil der Einlagerungsstrecke für die Streckenlagerung wärmeentwickelnder Abfälle (Angaben in mm) .....	76
Abb. 4.4	Gesamtdarstellung (870 m-Sohle) Variante B1: Streckenlagerung und Variante A.....	78
Abb. 4.5	Einlagerungsfeld für POLLUX®-10 .....	80

Abb. 4.6	Profil und Draufsicht der befüllten Einlagerungskammer (Container-Typ IV).....	84
Abb. 4.7	Profil und Draufsicht der befüllten Einlagerungskammer (Container-Typ VI).....	84
Abb. 4.8	Einlagerungsfeld mit radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung (Feld-West 1).....	85
Abb. 4.9	Profil der Richtstrecke Nord und der Querschläge Variante C Bohrlochlagerung (Angaben in mm) .....	87
Abb. 4.10	Profil der Beschickungsstrecke für Bohrlochlagerung (Angaben in mm) .....	88
Abb. 4.11	Profil des Einlagerungsortes (Angaben in mm) .....	89
Abb. 4.12	Gesamtdarstellung (870 m-Sohle) Variante C: Bohrlochlagerung und Variante A.....	91
Abb. 4.13	Einlagerungsfeld Ost 1.....	94
Abb. 5.1	Plateauwagen mit POLLUX <sup>®</sup> -Behälter .....	100
Abb. 5.2	Füllort und schachtnaher Bereich .....	104
Abb. 5.3	Batterie-Lokomotive .....	105
Abb. 5.4	Einlagerungsvorrichtung mit POLLUX <sup>®</sup> -Behälter.....	105
Abb. 5.5	Transferbehälter für Brennstabkokillen und Triple-Packs .....	110
Abb. 5.6	Plateauwagen mit Transferbehälter .....	111
Abb. 5.7	Einlagerungsvorrichtung für Brennstabkokillen und Triple-Packs, hier: Demonstrationsanlage zur Erprobung der Einlagerungstechnik.....	114
Abb. 5.8	Bohrlochsleuse .....	115
Abb. 5.9	Komponenten des Einlagerungssystems am Einlagerungsort nach Schwenken und Aufsetzen des internen Transferbehälters auf die Bohrlochsleuse .....	116

Abb. 5.10	Einlagerungsvorrichtung übernimmt den Transferbehälter .....	118
Abb. 5.11	Aufrichten des Transferbehälters .....	118
Abb. 5.12	Abschirmhaube setzt auf den Transferbehälter auf .....	119
Abb. 5.13	Einstellen des Transferbehälters auf die Bohrlochschleuse .....	119
Abb. 5.14	Plateauwagen für Abfallgebinde mit Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung .....	122
Abb. 5.15	Stapelfahrzeug für Abfallgebinde mit Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung .....	124
Abb. 5.16	Prinzipdarstellung Einlagerungsvorgang für Abfallgebinde mit Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung .....	126
Abb. 5.17	Gebindeanordnung für Container Typ IV in einer Einlagerungskammer mit einem Kammerquerschnitt von ca. 41 m <sup>2</sup> .....	127
Abb. 5.18	Gebindeanordnung für Container Typ VI in einer Einlagerungskammer mit einem Kammerquerschnitt von ca. 41 m <sup>2</sup> .....	127
Abb. 6.1	Westfalia-Luchs im Betrieb .....	131
Abb. 6.2	Streckensenkmaschinen .....	132
Abb. 6.3	Prinzipdarstellung eines Blasversatzsystems für die Streckenlagerung von POLLUX <sup>®</sup> -Behältern .....	138
Abb. 6.4	Prinzipdarstellung des Schleuderversatzes mittels Schleudertruck .....	140
Abb. 6.5	SWF 10 Schleudertruck (Angaben in mm) .....	141
Abb. 6.6	Gleisgebundener Schleuderversatz .....	142
Abb. 7.1	Position Streckenverschlüsse auf 870 m-Sohle .....	154
Abb. 8.1	Prinzipskizze zum Konzept der Einlagerung von TLB in horizontale Bohrlöcher .....	165
Abb. 8.2	Einlagerungsfeld für 70 TLB .....	167

## Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1	Abmessungen und Masse der Endlagerbehälter für die Variante B1 (Streckenlagerung) .....	13
Tab. 2.2	Abmessungen und Masse der Endlagerbehälter für die Variante B2 (Differenzbetrachtung) .....	20
Tab. 2.3	Abmessungen und Masse der Endlagerbehälter für die Variante C (Bohrlochlagerung) .....	31
Tab. 2.4	Abmessungen der Abfallgebinde für die Variante A .....	37
Tab. 2.5	Mengengerüst der hochradioaktiven und wärmeentwickelnden Wiederaufarbeitungsabfälle /MSC 11/ .....	47
Tab. 2.6	Mengengerüst der ausgedienten Brennelemente aus Leistungsreaktoren .....	47
Tab. 2.7	Mengengerüst der ausgedienten Brennelemente/Brennstäbe aus Versuchs- und Prototyp-Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren .....	48
Tab. 2.8	Anzahl der Endlagerbehälter für die Einlagerungsvariante B1 – Streckenlagerung .....	49
Tab. 2.9	Anzahl der Endlagerbehälter für die Einlagerungsvariante B2 – Differenzbetrachtung zur Streckenlagerung .....	50
Tab. 2.10	Anzahl der Endlagerbehälter für die Einlagerungsvariante C – Bohrlochlagerung .....	51
Tab. 2.11	Mengengerüst der vernachlässigbar wärmeentwickelnden radioaktiven Abfälle .....	51
Tab. 2.12	Anzahl der Endlagerbehälter für die Einlagerungsvariante A – nicht näher spezifizierte vernachlässigbar wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle .....	52
Tab. 3.1	Abfallströme und Endlagerbehälter/Transporteinheiten für die verschiedenen Einlagerungsvarianten .....	56
Tab. 3.2	Daten der Hauptseilfahrtanlage .....	69

Tab. 4.1	Minimaler Behälter- und Streckenabstand für POLLUX®-8 und -10.....	79
Tab. 4.2	Behälter- und Streckenabstand für POLLUX®-9 (CSD-V) .....	80
Tab. 4.3	Behälter- und Streckenabstand für POLLUX®-9 (CSD-B/CSD-C) .....	81
Tab. 4.4	Behälter- und Streckenabstand für CASTOR® THTR/AVR, KNK und MTR 2.....	81
Tab. 4.5	Felder mit Einzelstrecken Ost .....	82
Tab. 4.6	Minimaler Container- und Kammerabstand.....	85
Tab. 4.7	Belegung der Einlagerungsfelder .....	86
Tab. 4.8	Minimaler Bohrloch- und Streckenabstand für BSK 3 .....	92
Tab. 4.9	Behälter- und Streckenabstand für Triple-Pack mit 3 HAW-Kokillen .....	93
Tab. 4.10	Behälter- und Streckenabstand für Triple-Pack mit 3 CSD-B/CSD-C .....	93
Tab. 4.11	Behälter- und Streckenabstand für modifizierte Brennstabkokillen THTR/AVR, KNK und MTR 2.....	94
Tab. 4.12	Felder mit Einzelstrecken Ost – Variante C Bohrlochlagerung .....	95
Tab. 5.1	Daten der Endlagerbehälter der Variante B1 für die Auslegung der Komponenten für die Transport- und Einlagerungstechnik.....	98
Tab. 5.2	Übersicht über die erforderlichen Transport- und Handhabungseinrichtungen für die Endlagerbehälter der Variante B1 .....	98
Tab. 6.1	Anzahl der Endlagerbehälter für die Einlagerungsvariante B1 – Streckenlagerung – und Anzahl der Schachttransporteinheiten.....	133
Tab. 6.2	Anzahl der Endlagerbehälter für die Einlagerungsvariante C – Bohrlochlagerung – und Anzahl der Schachttransporteinheiten.....	134
Tab. 6.4	Anzahl der Endlagerbehälter für die Einlagerungsvariante A – Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung – und Anzahl der Schachttransporteinheiten .....	135

Tab. 6.5	Mögliche Verfülltechniken in Abhängigkeit von der Einlagerungstechnik .....	137
Tab. 7.1	Versatz- und Verfüllbaustoffe.....	157
Tab. 8.1	Daten der Endlagerbehälter (Referenzbehälter) der Variante B2 zur Auslegung der Komponenten für die Transport- und Einlagerungstechnik .....	162

**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](http://www.grs.de)

**DBE TECHNOLOGY GmbH**  
Eschenstraße 55  
31224 Peine

**ISBN 978-3-939355-48-9**