

# **Einschätzung betrieblicher Machbarkeit von Endlagerkonzepten**

Bericht zum Arbeitspaket 12

Vorläufige Sicherheitsanalyse  
für den Standort Gorleben



## **Einschätzung betrieblicher Machbarkeit von Endlagerkonzepten**

Bericht zum Arbeitspaket 12

Vorläufige Sicherheitsanalyse  
für den Standort Gorleben

Frank Peiffer  
Brigitta McStocker

März 2012

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

**Deskriptoren:**

Betriebssicherheit, Bewetterung, Einlagerungstechnik, Einlagerungsvarianten, Gorleben, Machbarkeit, Rückholung, Stand von Wissenschaft und Technik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Zielsetzung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Sachverhalt.....</b>	<b>3</b>
2.1	Anlagen über Tage.....	3
2.2	Schachtanlagen .....	3
2.3	Einlagerungsvarianten .....	5
2.4	Grubengebäude .....	6
<b>3</b>	<b>Einschätzungen zu den Einlagerungsvorgängen .....</b>	<b>9</b>
3.1	Endlagerkonzept .....	9
3.2	Handhabung über Tage .....	10
3.3	Schachttransport .....	10
3.4	Bewetterung .....	13
3.5	Handhabung unter Tage .....	14
3.5.1	Einlagerungsvariante A .....	14
3.5.2	Einlagerungsvariante B1 .....	14
3.5.3	Einlagerungsvariante B2 .....	15
3.5.4	Einlagerungsvariante C.....	17
<b>4</b>	<b>Einschätzungen zu den Rückholungsvorgängen .....</b>	<b>23</b>
4.1	Kriterien für die Bewertung der Rückholung.....	23
4.2	Endlagerkonzept .....	24
4.3	Einlagerungsvariante B1 .....	25
4.4	Einlagerungsvariante B2 .....	27
4.5	Einlagerungsvariante C.....	28

<b>5</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>31</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>33</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>35</b>
	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>37</b>

# 1 Einleitung und Zielsetzung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens "Vorläufige Sicherheitsanalyse Gorleben" (VSG), gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), erarbeitet die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH eine vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort in Gorleben.

Die Überprüfung der Sicherheit in der Betriebsphase (Arbeitspaket 12) bezieht sich nicht darauf, die in /BMU 10/ angeführten Sicherheitsnachweise zu erbringen. Ein solches Ansinnen würde bereits daran scheitern, dass eine Anlagenplanung im notwendigen Detaillierungsgrad nicht vorliegt und im Vorhaben VSG auch nicht zu entwickeln war.

Im Vorhaben VSG erfolgt die Überprüfung der Betriebssicherheit vor dem Hintergrund, ob das für das VSG Vorhaben entwickelte Endlagerkonzept dem Stand von Wissenschaft und Technik entspricht und insoweit keine grundlegenden Bedenken gegen die Machbarkeit ggf. später durchzuführender Sicherheitsnachweise im oben angesprochenen Sinne erkennbar sind. In diese Bewertung fließen Erfahrungen mit nationalen und internationalen Endlagerplanungen sowie vorliegenden betrieblichen Sicherheitsanalysen zu Endlagern für radioaktive Abfälle ein. Als Ergebnis der Untersuchungen zur Betriebssicherheit im Vorhaben VSG sind zu erwarten:

- Grundsätzliche Einschätzungen zur betrieblichen Machbarkeit sowie zur Betriebssicherheit,
- Einschätzungen zu einem noch bestehenden Forschungs- und Entwicklungsbedarf,
- Generische Anforderungen an die Endlagerungsbedingungen.

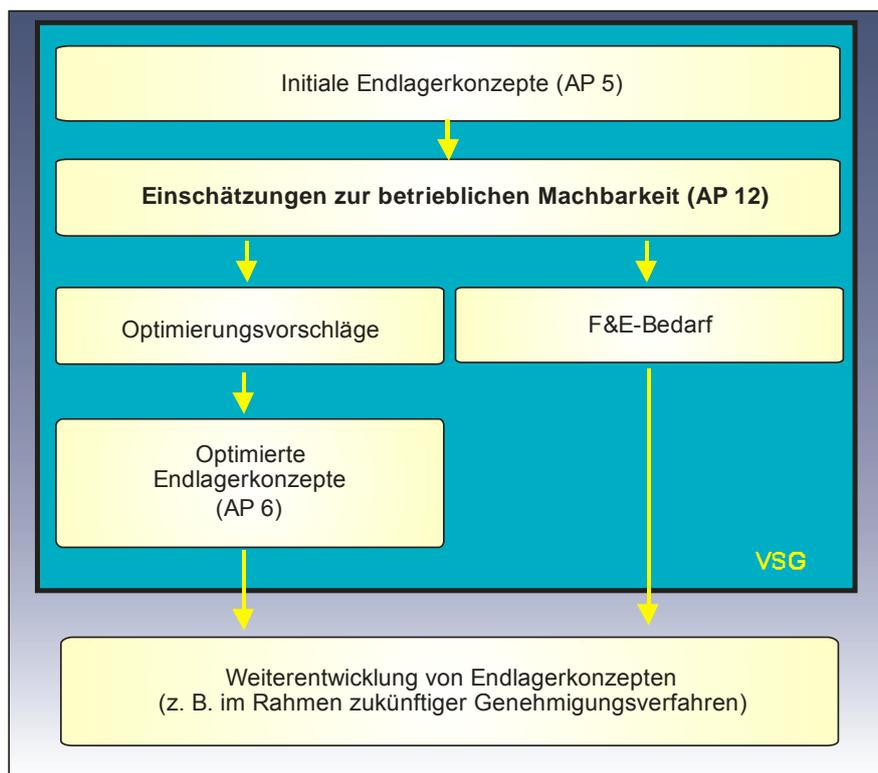
Die genannten Randbedingungen begründen den Titel des vorliegenden Ergebnisberichts "Einschätzungen betrieblicher Machbarkeit von Endlagerkonzepten".

Im Arbeitspaket 5 des Vorhabens VSG wurden die Endlagerkonzepte vorgestellt, die den nachfolgenden Sicherheitsanalysen zu Grunde gelegt wurden. Diese Konzepte wurden zeitnah zu Beginn des Vorhabens benötigt, um die zeitaufwendigen Modellierungen für die Langzeitsicherheitsanalysen beginnen zu können. In diesem Zusammenhang wird im nachfolgenden Bericht von initialen Endlagerkonzepten gesprochen. Die initialen Endlagerkonzepte sind wiederum auch die Arbeitsgrundlage für die Ein-

schätzungen zur betrieblichen Machbarkeit im Arbeitspaket 12 des Vorhabens VSG. Konkret werden im vorliegenden Ergebnisbericht zum AP 12

- Optimierungsvorschläge und
- Aussagen zur betrieblichen Machbarkeit bzw. zum Stand von W&T und insofern zu einem bestehenden F&E-Bedarf

abgeleitet. Die Optimierungsvorschläge sind ein Input in die Arbeiten zum Arbeitspaket 6 (Optimierte Endlagerkonzepte) im Vorhaben VSG. Der identifizierte F&E-Bedarf stellt eine Empfehlung für zukünftige Weiterentwicklungen von Endlagerkonzepten dar. Diese Weiterentwicklung, die auch Arbeitsergebnisse aus dem Arbeitspaket 6 betreffen, wird z. B. im Rahmen zukünftiger Genehmigungsverfahren erfolgen. Die Weiterentwicklungen liegen aber in jedem Fall außerhalb des Arbeitsrahmens des Vorhabens VSG. Die Einbindung des Arbeitspaketes 12 zwischen den Arbeitspaketen 5 und 6 ist in der nachfolgenden Abbildung 1.1 dargestellt.



**Abb. 1.1** In- und Output aus dem Arbeitspaket 12 im Vorhaben VSG

## **2 Sachverhalt**

### **2.1 Anlagen über Tage**

Das in /BOL 11/ beschriebene Endlagerkonzept sieht eine Anlieferung der endlagerfähigen Abfallgebinde an das Endlager über eine Schienen- und Straßenanbindung vor. Die Schienenanbindung verbindet das Endlager auch mit der benachbarten Konditionierungsanlage. In dieser Anlage würden die Brennstäbe der bestrahlten Brennelemente bzw. die Abfälle aus der Wiederaufarbeitung endlagerfähig konditioniert. Der Schienenweg von der Konditionierungsanlage zum Endlager führt nicht über öffentliche Verkehrswege. Bei diesen Transporten handelt es sich insofern um innerbetriebliche Transporte.

Der Umladebereich des Endlagers, in dem die Abfallgebinde von den Anlieferungsfahrzeugen abgenommen werden, ist in Bereiche für den Umschlag wärmeentwickelnder und vernachlässigbar wärmeentwickelnder Abfälle unterteilt. Für die beiden Bereiche stehen jeweils separate Krananlagen und Pufferhallen zur Verfügung. Angelieferte Abfallgebinde werden nach der Entladung des Anlieferungsfahrzeugs einer Eingangskontrolle unterzogen. Abfallgebinde, die bei dieser Kontrolle beanstandet werden, können in einem gewissen Umfang in einem Sonderbehandlungsraum nachkonditioniert werden.

Der betriebliche Regelfall ist, dass Abfallgebinde nach der Eingangskontrolle unmittelbar zur Endlagerung bereitgestellt werden. Hierzu werden die Abfallgebinde auf schienegebundene innerbetriebliche Plateauwagen abgesetzt, die mittels einer Unterflurförderanlage bewegt werden. Über Querverschübe gelangt der Plateauwagen in den Bereich der Schachtförderanlage. Durch technische Barrieren wird ein unbeabsichtigtes Zuführen von Plateauwagen zur Schachtförderanlage verhindert. Abfallgebinde, die nicht unmittelbar nach unter Tage zur Endlagerung gebracht werden können, werden mit der Krananlage vom Umladebereich in die Pufferhalle transportiert.

### **2.2 Schachtanlagen**

Das Endlagerkonzept sieht vor, dass das Grubengebäude über zwei Schächte erschlossen wird. Die beiden Schächte haben einen Abstand von ca. 400 m. Unter Tage schließt die Einlagerungssohle an die beiden Schächte an. Östlich des Schachtes 2

erschließt sich das Einlagerungsfeld für die wärmeentwickelnden radioaktiven Abfälle. Westlich des Schachtes 1 liegt das Einlagerungsfeld für die vernachlässigbar wärmeentwickelnden radioaktiven Abfälle.

Über den Schacht 1 erfolgen die Seilfahrt und Materialtransporte. Über den Schacht 1 werden darüber hinaus die Frischwetter in das Grubengebäude gezogen.

Über den Schacht 2 werden die Abfallgebundenach unter Tage gefördert. Bei der geplanten Schachtförderanlage handelt es sich um eine sogenannte Turmförderanlage. Die auslegungsrelevanten Daten dieser Anlage sind in Tabelle 2.1 zusammenfassend dargestellt. Über den Schacht 2 werden die Abwetter aus dem Grubengebäude abgezogen.

**Tab. 2.1** Geplante Auslegungsdaten der Hauptseilfahranlage im Schacht 2

<b>Kenngößen der Schachtförderanlage</b>	
Förderteufe	870 m
Art der Förderung	Koepeförderung mit Gestellförderung und Gegengewicht
Normallastförderung	30 Mg
Schwerlastförderung	85 Mg
Fördergeschwindigkeit (Normallast)	12 m/s
Fördergeschwindigkeit (Schwerlast)	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

Kenngrößen der Schachtförderanlage	
Rechnerische Seilsicherheit bei Förderung	7,27fach
Geforderte Seilsicherheit	6,72fach
Anzahl der Unterseile	3
Motor-Nennleistung	2 x 2.800 kW

### 2.3 Einlagerungsvarianten

Im Bericht der DBETEC zum Endlagerkonzept /BOL 11/ werden die folgenden Einlagerungsvarianten beschrieben:

**Variante A:** Einlagerung von radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung

**Variante B1:** Einlagerung der wärmeentwickelnden radioaktiven Abfälle in selbst abschirmenden Endlagerbehältern in horizontalen Strecken

**Variante B2:** Differenzbetrachtung zur Variante B1; Einlagerung der wärmeentwickelnden Abfälle in Transport- und Lagerbehältern

**Variante C:** Einlagerung der wärmeentwickelnden radioaktiven Abfälle in tiefen vertikalen Bohrlöchern

Mit der **Variante A** wird optional berücksichtigt, dass - bei Bedarf - zusätzlich zu den wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen die Endlagerung begrenzter Mengen vernachlässigbar wärmeentwickelnder Abfälle im Endlager Gorleben vorzusehen ist. Diese Abfälle würden in einem separaten Einlagerungsbereich westlich der beiden Schächte in Kammern endgelagert.

Die **Variante B1** ist eine der beiden Haupteinlagerungsvarianten. Sie sieht vor, die wärmeentwickelnden radioaktiven Abfälle in Strecken östlich der beiden Schächte endzulagern. Die bestrahlten Brennelemente aus Forschungs- und Prototypreaktoren würden in CASTOR®-Behältern der Typen AVR/THTR, KNK und MTR 2, in denen sie derzeit auch zwischengelagert werden, endgelagert. Die bestrahlten Brennstäbe aus

Leistungsreaktoren werden in POLLUX-10 Behältern und die Kokillen aus der Wiederaufarbeitung in POLLUX-9 Behältern endgelagert. Hinsichtlich der Volumina bzw. der Massen der genannten Abfallgebindetypen dominieren die POLLUX -10 Behälter mit einem Durchmesser von 1.560 mm, einer Länge 5.517 mm und einer Masse von ca. 65 Mg. Für die notwendige Betriebstechnik sind diese Behälter auslegungsbestimmend.

Die **Variante B2** wird als so genannte Differenzvariante zur Einlagerungsvariante B1 betrachtet. Entsprechend dieser Variante würden alle wärmeentwickelnden Abfälle in Transport- und Zwischenlagerbehältern in horizontalen Bohrlöchern (ein Abfallgebinde pro Bohrloch) endgelagert. Bei den Transport- und Zwischenlagerbehältern handelt es sich um unterschiedliche CASTOR<sup>®</sup>-Behälter. Die zylinderförmigen Behälter haben einen Durchmesser von etwa 2,5 m. Die Länge bzw. Höhe dieser Behälter liegt bei ca. 6,0 m. Hinsichtlich der Massen ist der CASTOR<sup>®</sup> V/19, er enthält die Brennstäbe aus 19 bestrahlten DWR-Brennelementen, mit etwa 124 Mg auslegungsbestimmend für die Betriebstechnik. Diese Masse kann sich ggf. noch durch die Verfüllung des Resthohlraums im Behälter mit Magnetit zur Sicherstellung der Unterkritikalität in der Nachbetriebsphase erhöhen.

Die **Variante C** ist die zweite Haupteinlagerungsvariante. Sie sieht vor, die wärmeentwickelnden Abfälle in bis zu 300 m tiefe vertikale unverrohrte Bohrlöcher endzulagern. Bei den Endlagerbehältern handelt es sich um dünnwandige, nicht selbstabschirmende Kokillen. Betrachtet werden im Zusammenhang mit der Bohrlochlagerung Kokillen vom Typ BSK, Triple-Pack (enthält 3 CSD-V, CSD-B bzw. CSD-C) sowie eine modifizierte BSK. In Kokillen vom Typ BSK werden Brennstäbe aus Leistungsreaktoren konditioniert. Modifizierte BSK dienen zur Endlagerung des Kernbrennstoffs aus Forschungs- und Prototypreaktoren. Die Länge der genannten Kokillen liegt bei etwa 5,0 m. Der Durchmesser der BSK bzw. des Triple-Packs beträgt etwa 0,5 m. Der Durchmesser der modifizierten BSK beträgt etwa 0,7 m. Die Massen der beladenen Kokillen betragen ca. 5,3 Mg.

## 2.4 Grubengebäude

Das geplante Endlagerbergwerk ist für alle Einlagerungsvarianten einseitig und erstreckt sich in west-östlicher Richtung. Für die Variante B1 "Streckenlagerung" erstreckt sich das Grubengebäude über etwa 5.000 m in west-östlicher Richtung und

über ca. 1.200 m in Richtung Nord-Süd. Die wärmeentwickelnden Abfälle werden in Einlagerungsfeldern östlich des Schachtes 2 eingelagert. Die Erschließung der Einlagerungsfelder wird über eine nördliche und südliche Richtstrecke erfolgen. Die Einlagerungsfelder ergeben sich durch Querschläge, die die beiden Richtstrecken miteinander verbinden. Von den Querschlägen führen die Einlagerungsstrecken (Blindstrecken) in das Gebirge. Die Einlagerungsstrecken verlaufen parallel zu den Richtstrecken.

Für die Bohrlochlagerung (Einlagerungsvariante C), stellt sich das Konzept der Einlagerungssohle grundsätzlich ähnlich wie bei der Streckenlagerung dar. Auch hier erstreckt sich der Einlagerungsbereich in west-östlicher Richtung, ausgehend von den beiden Schächten. Der Einlagerungsbereich ist über eine südliche und nördliche Richtstrecke erschlossen. Die beiden Richtstrecken werden über Querschläge miteinander verbunden. In diesen Querschlägen würden die Bohrlöcher zur Aufnahme der Abfallgebinde abgeteuft. Für das Konzept der Bohrlochlagerung ergibt sich ein Einlagerungsbereich von ca. 1.600 m (West-Ost-Richtung) und ca. 1.200 m (Nord-Süd-Richtung).

Unabhängig von dem verfolgten Einlagerungskonzept für die wärmeentwickelnden Abfälle wird für das Vorhaben VSG optional die Endlagerung von vernachlässigbar wärmeentwickelnden Abfällen in einem Bereich westlich der beiden Schächte berücksichtigt.



### **3            Einschätzungen zu den Einlagerungsvorgängen**

#### **3.1            Endlagerkonzept**

Das vorliegende Endlagerkonzept bezieht sich ausschließlich auf die Einlagerung der radioaktiven Abfälle. Es kann nicht unterstellt werden, dass sich z. B. die Berücksichtigung der Rückholbarkeit ohne weiteres in das vorgeschlagene Endlagerkonzept einfügen lässt. Das Endlagerkonzept berücksichtigt beispielsweise keine Maßnahmen zum Management von zurückgeholten Abfallgebinden bzw. von ggf. kontaminiertem Hauswerk.

Das mit einem zum Teil hohen Detaillierungsgrad vorgeschlagene initiale Endlagerkonzept wird insofern in Zukunft weiter zu entwickeln sein. Das vorliegende Endlagerkonzept wird sich hierdurch ggf. verändern und sollte für die notwendige Weiterentwicklung keinen Sachzwang darstellen.

Die diskutierten Einlagerungsvarianten bauen insgesamt auf der Arbeitsthese auf, dass die vorgestellten Endlagerbehälter die entsprechende Zulassung für die Endlagerung erhalten werden. Für einen Teil der Endlagerbehälter für wärmeentwickelnde Abfälle bestehen derzeit nur konzeptionelle Überlegungen.

Bevor Behälter für die Endlagerung zugelassen werden können, ist es erforderlich, die an sie zu stellenden Anforderungen festzulegen. Diese Anforderungen werden standortspezifisch u. a. aus betrieblichen Sicherheitsanalysen abgeleitet und abschließend definiert. Danach kann der Nachweis geführt werden, dass die geplanten Behälter die Anforderungen einhalten. Vor diesem Hintergrund kann zwar angenommen werden, dass Endlagerbehälter für vernachlässigbar wärmeentwickelnde Abfälle, die für das Endlager Konrad zugelassen sind, auch in einem anderen Endlager eingelagert werden können. Als gesichert angesehen werden kann dies allerdings nicht.

Die Endlagerbehälter übernehmen nicht nur für einen Teil der Nachbetriebsphase sondern insbesondere auch für die Betriebsphase eine Sicherheitsfunktion. Ein Versagen der sicherheitstechnischen Funktion der Endlagerbehälter kann, trotz qualitätssichernder Maßnahmen, nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Aus radiologischer Sicht könnte ein solches Versagen für die Betriebsphase erhebliche Auswirkungen haben. Vor dem Hintergrund, dass in das Endlager, abhängig von der Einlagerungsvariante, zwischen 2.000 und 10.000 Endlagerbehälter eingelagert werden sollen, ist eine Quan-

tifizierung der Versagenswahrscheinlichkeit der Sicherheitsfunktion des Endlagerbehälters notwendig.

### **3.2 Handhabung über Tage**

Für die im Vorhaben VSG berücksichtigten Einlagerungsvarianten gilt gleichermaßen, dass im übertägigen Bereich des Endlagers Handhabungs- und Transportvorgänge durchzuführen sind, die vergleichbar bei der Zwischenlagerung, Konditionierung und sonstigen Handhabung der wärmeentwickelnden Abfälle durchgeführt werden. Dies betrifft z. B. das Anheben und Absetzen der z. T. sehr schweren Abfallgebände sowie den gleisgebundenen innerbetrieblichen Transport. Der gleisgebundene innerbetriebliche Transport von Plateauwagen, beladen mit einem POLLUX-Behälter (Gesamtmasse: ca. 85 Mg) war Gegenstand verschiedener Versuchseinrichtungen und Demonstrationen /DBE 95/. Der gleisgebundene innerbetriebliche Transport von Abfallgebänden mit einer Unterflurförderanlage, einschließlich von Querverschüben, ist die für das Endlager Konrad genehmigte Einlagerungstechnik.

Für das Endlagerkonzept sind im übertägigen Anlagenbereich keine Handhabungsvorgänge erkennbar, die nicht dem Stand der Technik entsprechen oder einen Forschungs- und Entwicklungsaufwand erfordern.

Im Einzelnen wird der Betriebsablauf über Tage sicherlich noch Optimierungspotenzial, z. B. hinsichtlich des Strahlenschutzes und Störfallsicherheit, aufweisen. Ansatzpunkte könnten hier z. B. die Eingangskontrolle und eine Automatisierung der Handhabungsprozesse sein. Die Frage nach der Notwendigkeit und insbesondere dem Umfang einer Eingangskontrolle von Abfallgebänden, die in der benachbarten Konditionierungsanlage konditioniert wurden, sollte noch diskutiert werden. Diese Fragen betreffen allerdings die Optimierung der Detailplanung, die über den im Vorhaben VSG aufgespannten inhaltlichen Rahmen hinausgeht.

### **3.3 Schachttransport**

Das Konzept der vorgeschlagenen Schachtförderanlage entspricht der Planung, die Anfang der 90er Jahre im Rahmen von F&E-Vorhaben für die direkte Endlagerung von POLLUX-Behältern entwickelt wurde. Dieses Konzept wurde damals hinsichtlich wesentlicher Systeme und Komponenten in Demonstrationsversuchen erprobt; hierzu

gehörten z. B. das SELDA-System im Schachtsumpf bzw. im Förderturm, die Schachtlinken sowie die Fixierung des Plattformwagens auf dem Fördergestell. Die durchgeführten Demonstrationsversuche, die mit Teilen der Schachtförderanlage im industriellen Maßstab durchgeführt wurden, wurden durch unabhängige Sachverständige begleitet. Die Sachverständigen kamen zu dem Ergebnis, dass durch die Demonstrationsversuche für die getesteten sicherheitsrelevanten Systeme der Stand von W&T aufgezeigt wurde /BEU 97/.

In den vergangenen zwei Jahrzehnten hat sich der Stand der Fördertechnik im Hinblick auf die Förderung sehr schwerer Nutzlasten und der sicherheitstechnischen Auslegung von Schachtförderanlagen weiterentwickelt, z. B. /AND 05/. Hinzu kommen auch Betriebserfahrungen der vergangenen Jahre, die z. B. die Anlage "Olympic Dam" in Australien betreffen /CHA 10/, /REU 09/ und die ggf. bezüglich eines Erfahrungsrückflusses planerisch genutzt werden können. Das Schachtförderkonzept, das Anfang der 90er Jahre entwickelt wurde, kann die Erfahrungen und Entwicklungen der beiden vergangenen Jahrzehnte natürlich noch nicht berücksichtigen.

Im Zusammenhang mit der Machbarkeitsstudie für das französische HAW-Endlager in Bure /AND 05/ wurde von der ANDRA das Konzept für eine Schachtförderanlage vorgestellt, das entsprechend der französischen Regelwerke z. T. durch deutsche Firmen entwickelt wurde. Dieses Konzept zeichnet sich betriebstechnisch dadurch aus, dass Gesamtlasten (Ober- und Unterseil, Förderkorb, Nutzlast) von bis zu 300 Mg durch die Schachtröhre bewegt werden können. Für die vorgeschlagene Schachtförderanlage liegt der korrespondierende Wert bei ca. 214 Mg.

Neben den betrieblichen Aspekten weist das französische Konzept der Schachtförderanlage einige sicherheitstechnische Entwicklungen auf, die in dem Schachtförderkonzept für den Standort Gorleben derzeit nicht berücksichtigt sind. Hervorzuheben sind

- die SELDA-Anlage, die in allen Teufenlagen im Schacht wirksam werden kann,
- die Hermetisierbarkeit des Schachtes während der Schachtförderung der Abfallgebinde,
- der Schockabsorber im Schachtsumpf, mit dem abstürzende Massen weich abgefangen werden sollen und
- die niedrige Fördergeschwindigkeit von 1 m/s (Schutz vor Seilrutsch).

Diese Maßnahmen zielen darauf ab, die Eintrittshäufigkeit von erheblichen mechanischen Einwirkungen auf die Abfallbinde beim Schachttransport zu reduzieren bzw. die radiologischen Konsequenzen aus solchen Einwirkungen zu reduzieren. Für das deutsche Endlagerkonzept zur Endlagerung der wärmeentwickelnden Abfälle sollten diese sicherheitstechnischen Maßnahmen in die Betrachtung mit einbezogen werden. Es sind keine Gründe erkennbar, warum die in Frankreich geplanten sicherheitstechnischen Maßnahmen nicht übertragbar wären. Bei einer zukünftigen Weiterentwicklung der Schwerlastschachtförderanlage müsste zumindest die Abwägung deutlich werden, warum auf bekannte sicherheitstechnische Auslegungsmaßnahmen verzichtet wurde.

Die wettertechnische Hermetisierbarkeit des Transportschachtes im französischen Konzept soll die Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Umwelt nach einer mechanischen Beaufschlagung eines Abfallgebundes im Schacht zumindest deutlich reduzieren. Diese Planung setzt voraus, dass die betrieblichen Abwetter nicht durch den Transportschacht abgeführt werden. Die Realisierung dieser Maßnahme erfordert insofern einen zusätzlichen Abwetterschacht. In der zukünftigen Diskussion um einen zusätzlichen Abwetterschacht aus Sicht der Betriebssicherheit ist aber auch die Sicherheitsanforderung /BMU 10/ zu berücksichtigen, wonach die Durchörterung des einschlußwirksamen Gebirgsbereichs so gering wie möglich zu halten ist.

Zur Auslegung eines Systems entsprechend dem Stand von W&T gehört auch, dass Betriebserfahrungen mit entsprechenden Systemen ausgewertet werden und der gegebenenfalls bestehende Erfahrungsrückfluss in die Konzeption einer neuen Anlage einfließt. Im Zusammenhang mit der Konzeption einer neuen Schwerlast-Schachtförderanlage müsste beispielsweise der Störfall von Oktober 2009 im australischen Erzbergwerk "Olympic Dam" /CHA 10/, /REU 09/ analysiert werden.

Mit der im Projekt VSG vorgeschlagenen Schachtförderanlage wäre der Schachttransport von Abfallbinden entsprechend der Einlagerungsvarianten A, B1 und C machbar. Für die Einlagerungsvariante B2 wären CASTOR<sup>®</sup>-Behälter mit Massen von bis zu 160 Mg und ggf. ein Schachttransportwagen zu fördern. Mit der vorgeschlagenen Schachtförderanlage (Nutzlast 85 Mg) können diese Behälter nicht gefördert werden. Bezüglich einer Weiterverfolgung der Einlagerungsvariante B2 ist daher eine Weiterentwicklung der Schwerlast-Schachtförderung notwendig.

### 3.4 Bewetterung

Das von DBETEC in /BOL 11/ vorgestellte Endlagerkonzept (AP 5) beinhaltet nicht nur ein Konzept für die Bewetterung des Endlagerbergwerks. Randbedingungen bzw. Vorgaben für die Bewetterung bestehen konzeptionell durch die beiden Schächte, die westlich der Einlagerungssohle für die wärmeentwickelnden Abfälle im Abstand von ca. 400 m aus dem Endlagerbergwerk führen. Über den Schacht 1, über den das Betriebspersonal in das Endlagerbergwerk einfährt, werden die Frischwetter in das Endlagerbergwerk eingezogen. Über den Schacht 2, über den die radioaktiven Abfallgebinde nach unter Tage gefördert werden, ziehen die Abwetter aus dem Bergwerk aus.

Eine weitere Randbedingung für die Bewetterung ist, dass Frischwetter für den konventionellen bergbaulichen Bereich (Bereich der südlichen Richtstrecke) und den radiologischen Bereich (Bereich der nördlichen Richtstrecke) bereitgestellt werden müssen. Die Abwetter aus den beiden Bereichen müssen zum Abwetterschacht zurück und abgeführt werden. Wie und ob die Bewetterung unter Einhaltung der bergbaulichen und radiologischen Anforderungen realisiert werden kann, ist offen. Soweit keine zusätzlichen Wetterstrecken genutzt oder aufgefahren werden, kann die notwendige Bewetterung nur in der Weise sicher gestellt werden, dass die Frischwetter über die südliche Richtstrecke (bergbaulicher Bereich) in die nördliche Richtstrecke (Kontrollbereich) gezogen und von dort über den Schacht 2 abgeführt werden. Die Querschläge zwischen der nördlichen und südlichen Richtstrecke müssten wettertechnisch getrennt werden.

Dieses Konzept der Bewetterung als Folge des Endlagerkonzeptes zieht Konsequenzen für den betrieblichen Ablauf nach sich. Ein entscheidender Sachzwang ist, dass im Kontrollbereich der nördlichen Richtstrecke nur bedingt Tätigkeiten ausgeübt werden können, wenn dieser Bereich mit dem Abwetter aus dem konventionellen Bereich (südliche Richtstrecke) bewettert wird. Die Konsequenz ist, dass eine zeitliche Trennung bergbaulicher Arbeiten und Tätigkeiten im Kontrollbereich erforderlich ist.

Die Einlagerung der wärmeentwickelnden Abfallgebinde erfolgt im so genannten Rückbau, also von Osten nach Westen. Das bedeutet, dass die nördliche Richtstrecke, westlich von dem Bereich, ab dem eine betriebliche Freisetzung von radioaktiven Stoffen nicht ausgeschlossen werden kann, potentiell kontaminierte Wetter als Frischwetter führt.

Das System der Bewetterung würde sich einfacher und robuster darstellen, wenn für die Abwetter separate Strecken zur Verfügung ständen und ggf. ein separater Abweterschacht geplant würde.

### **3.5 Handhabung unter Tage**

#### **3.5.1 Einlagerungsvariante A**

Mit der Variante A wird optional bzw. zusätzlich zur Einlagerung der wärmeentwickelnden Abfälle, gemäß der Varianten B1, B2 und C, die Endlagerung radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung berücksichtigt. Bezüglich der Endlagerung der vernachlässigbar wärmeentwickelnden Abfälle orientiert sich das Endlagerkonzept im Vorhaben VSG /BOL 11/ im Wesentlichen an dem Endlagerkonzept, wie es für das Endlager Konrad genehmigt ist. Ein Unterschied zum Endlager Konrad würde darin bestehen, dass die Abfallgebinde vom Füllort in die Einlagerungsbereiche im Westfeld des Endlagers gleisgebunden transportiert werden. Im Endlager Konrad erfolgt dieser Transport mit gleislosen Fahrzeugen.

Für die Einlagerungsvariante A im Vorhaben VSG kann nicht ausgeschlossen werden, dass ein Teil der Abfallgebinde mit vernachlässigbar wärmeentwickelnden Abfällen Dosisleistungen aufweisen, die eine fernbediente Handhabung bzw. eine Handhabung in Abschirmbehältern nahe legt. Hieraus kann sich ein Optimierungsbedarf für das zukünftige verfolgte Endlagerkonzept ergeben.

#### **3.5.2 Einlagerungsvariante B1**

Die Variante B1 sieht die Streckenlagerung der wärmeentwickelnden Abfälle vor. Die bestrahlten Brennelemente aus Leistungsreaktoren sowie die verschiedenen radioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung werden zur Endlagerung in POLLUX-Behälter konditioniert. Die wärmeentwickelnden Abfälle aus Forschungs- und Prototypreaktoren werden in den Transport- und Zwischenlagerbehältern (CASTOR<sup>®</sup>-Behälter), in denen sie zwischengelagert werden, endgelagert. Der schwerste Endlagerbehälter hat eine Masse von etwa 65 Mg.

Die Handhabung von POLLUX -Behältern mit einer Masse von bis zu 65 Mg war Gegenstand von Demonstrationsversuchen Anfang der 90er Jahre. Die durchgeführten

Handhabungsversuche bezogen sich auch auf den innerbetrieblichen Transport unter Tage sowie das Ablegen der Behälter in der Endlagerstrecke. Sachverständige, die die Demonstrationsversuche im Auftrag des BMU begleitet haben kamen zu dem Ergebnis, dass der Stand von Wissenschaft und Technik bezüglich dieser Einlagerungstechnologie aufgezeigt wurde. Diese Einschätzung besteht unverändert.

Die Streckenlagerung stellt sich aus betriebstechnischer Sicht als einfach und robust dar. Beaufschlagungen (thermisch/mechanisch), die zu einer Freisetzung radioaktiver Stoffe aus den Endlagerbehältern führen könnten, werden durch die Handhabungseinrichtungen und die Behälterauslegung vermieden. Die Auslegung der Endlagerbehälter ermöglicht grundsätzlich den Aufenthalt im Bereich der Abfallgebäude, so dass ggf. auftretende Betriebsstörungen beherrschbar sein werden.

Die Einlagerung von Abfallgebänden erfolgt im Rückbauverfahren. D. h. Bereiche die einlagerungstechnisch abschließend befüllt sind, werden sukzessive versetzt. Dies betrifft die Einlagerungsstrecken und die dorthin führenden Transportstrecken. An das Versatzmaterial und die Errichtung von Abdichtbauwerke bestehen dezidierte Anforderungen. Es werden Anforderungen an den eingebrachten Versatz gestellt werden, z. B. 0,02 % natürliche Salzfeuchte bzw. 0,6 % Feuchte des Versatzes für die Richtstrecken. Eine zukünftige Aufgabe wird darin bestehen, die Anforderungen an den Versatz und die Abdichtbauwerke in quantitative Kenngrößen umzusetzen, so dass diese im Sinne der betrieblichen Sicherheit qualitätsgesichert zuverlässig eingehalten werden. So wird beispielsweise für die Gewährleistung der genannten Restfeuchte im Versatzstoff, der in erheblichen Mengen bereitzustellen ist, aus technischer Sicht Neuland beschritten.

### **3.5.3 Einlagerungsvariante B2**

Bei der Differenzbetrachtung zur Streckenlagerung (Variante B2) wird die Verwendung von Transport- und Lagerbehältern (TLB) als Endlagerbehälter für die bestrahlten DWR-, SWR- und WWER-Brennelemente in CASTOR<sup>®</sup>-V/19, CASTOR<sup>®</sup>-V/52 und CASTOR<sup>®</sup>-440/84 sowie der Wiederaufarbeitungsabfälle in CASTOR<sup>®</sup> HAW 20/28 CG, TS 28 V, CASTOR<sup>®</sup> HAW 28M, TN 85 und TGC36 betrachtet.

Die genannten Behälter haben eine Masse zwischen 110 und 124 Mg und sind deutlich schwerer als POLLUX-Behälter (maximale Masse 65 Mg). Sofern die Hohlräume in den TLB zur Sicherstellung der Unterkritikalität in der Nachbetriebsphase mit einem Absorbermaterial verfüllt werden müssen, wird sich die Masse der Behälter auf bis zu

160 Mg erhöhen. Der Durchmesser der TLB liegt bei etwa 2,5 m. Der Durchmesser der POLLUX-Behälter liegt bei etwa 1,5 m. Die Höhe der TBL beträgt ca. 6,0 m.

Das in /BOL 11/ dargestellte Konzept zur Endlagerung der TLB basiert auf einer Konzeptstudie der Gesellschaft für Nuklear-Service /GNS 09/. Entsprechend dieser Studie werden an das Endlager angelieferte TLB vom Anlieferungsfahrzeug abgenommen, auf einem innerbetrieblichen Transportfahrzeug senkrecht abgestellt und mit diesem Fahrzeug zur Schachtförderung bereitgestellt. In der Schachtförderanlage wird der TLB vom Transportmittel abgehoben und am Anschlagmittel hängend nach unten gefördert. Am Füllort wird der TLB innerhalb der Schachtförderanlage senkrecht auf ein Transportmittel abgestellt und aus der Schachtförderanlage gefahren. Außerhalb der Schachtförderanlage wird der TLB erneut angehoben und horizontal auf ein schienengebundenes innerbetriebliches Transportfahrzeug abgelegt. Mit diesem Fahrzeug wird das Abfallgebilde in die Einlagerungsstrecke, bzw. das dort entsprechend vorbereitete horizontale Einlagerungsbohrloch gefahren. Die Einlagerungsbohrlöcher sind in den Stoß der Einlagerungsstrecke gebohrt. Im Bereich der Einlagerungsbohrlöcher ist eine Drehscheibe installiert, mit der das Transportfahrzeug in eine achsenparallele Position zum Bohrloch gebracht wird. Eine hydraulische Schubvorrichtung auf dem Transportfahrzeug schiebt den TLB in das Bohrloch.

Eine nachvollziehbare Beschreibung

- der Umladung der Abfallgebilde nach Anlieferung auf ein innerbetriebliches Fahrzeug (stehender Transport),
- des Schachttransportes,
- des Umschlages unter Tage,
- des Einlagerungsvorgangs sowie
- des Versatzes der eingelagerten Abfallgebilde

ergibt sich aus der Unterlage /BOL 11/ nicht.

Hinweise auf notwendige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Zusammenhang mit der Einlagerungsvariante B2 werden allerdings in der Unterlage /BOL 11/ spezifiziert.

### 3.5.4 Einlagerungsvariante C

Die ursprüngliche und in der Unterlage /BOL 11/ vorgeschlagene Bohrlochlagerung sah vor, die wärmeentwickelnden Abfälle in Kokillen in bis zu 300 m tiefe unverrohrte Bohrlöcher endzulagern. Für dieses Einlagerungskonzept haben allerdings die ersten Studien zur Rückholung im Rahmen des VSG Vorhabens gezeigt, dass eine Rückholung dieser Kokillen nicht möglich sein wird. Im Rahmen der Weiterentwicklung der Bohrlochlagerung wurde ein Konzept für die Lagerung in verrohrten Bohrlöchern entwickelt. Für den Einlagerungsvorgang ergeben sich durch diese konzeptionelle Änderung keine deutlich veränderten Randbedingungen gegenüber der Lagerung in unverrohrten Bohrlöchern.

Die Anforderungen an die Präzision der verrohrten Bohrlöcher müssten im Vorfeld aus betrieblichen Sicherheitsanalysen abgeleitet werden. An der Machbarkeit serienmäßig herzustellender 300 m tiefer verrohrter Bohrlöcher bestehen keine grundsätzliche Zweifel. Für die ersten Studien und die Konzeptentwicklung ist es in sofern ausreichend, auf die Erfahrungen von geologischen Bohrungen abzustellen. Für die Erfordernisse bei der Endlagerung wird es allerdings notwendig werden, die anforderungsgemäße Erstellung der Bohrlöcher durch entsprechende in Situ Demonstrationen nachzuweisen.

Der wesentliche Unterschied der Einlagerungsvariante C gegenüber den Einlagerungsvarianten B1 und B2 besteht darin, dass die Endlagerbehälter die Abfallprodukte aus radiologischer Sicht nicht abschirmen und der Endlagerbehälter über keine Auslegung gegenüber störfallbedingten mechanischen Einwirkungen verfügt. Die Handhabung dieser Endlagerbehälter ist daher im Hinblick auf die Robustheit des Vorgangs nicht vergleichbar mit der Streckenlagerung von POLLUX-Behältern. Die Endlagerbehälter werden für die Bohrlochlagerung an das Endlager in Transferbehältern angeliefert und im Endlager bis zum Einlagerungsvorgang in diesen Behältern gehandhabt. Nach der Einlagerung werden die Transferbehälter freigemessen und wiederverwendet.

Der Transferbehälter wird liegend am Endlagerort angeliefert und über der Bohrlochschleuse senkrecht aufgestellt. Danach werden die Endlagerbehälter aus dem Transferbehälter ausgeschleust und in das Bohrloch abgesenkt. Für diese Handhabungsvorgänge wurde eine Einlagerungsmaschine entwickelt, geplant und zu Demonstrations-

zwecken gebaut. Die Einlagerungsmaschine wurde im Rahmen des Forschungsprogramms /TEC 08/ erprobt.

Die Einlagerungsmaschine wird insbesondere durch folgende Funktionen gekennzeichnet:

- Abheben des Transferbehälters vom Plateauwagen,
- Schwenken des Transferbehälters von der horizontalen in die vertikale Position,
- Punktgenaues Abstellen des Transferbehälters auf der Bohrlochsleuse,
- Öffnen des oberen Deckels des Transferbehälters und Anschlagen des Tragwerks an die Kokillen,
- Entlasten des unteren Deckels des Transferbehälters durch Anheben der Kokille und Öffnen des Bodendeckels,
- Absenken der Kokille in das Bohrloch bis zum Bohrlochtieftasten an einem Seil.

Den genannten Handhabungsprozessen mit der Einlagerungsmaschine kommt aus Sicht der Betriebssicherheit besondere Bedeutung zu, da mit dem Transferbehälter und insbesondere mit den Endlagerbehältern hochradioaktive Abfälle gehandhabt werden, die über keine störfalltechnische Auslegung verfügen. Im Rahmen der noch durchzuführenden Störfallanalysen wird zukünftig zu klären sein, ob für den Transferbehälter eine Typ B(U)-Zulassung notwendig werden wird.

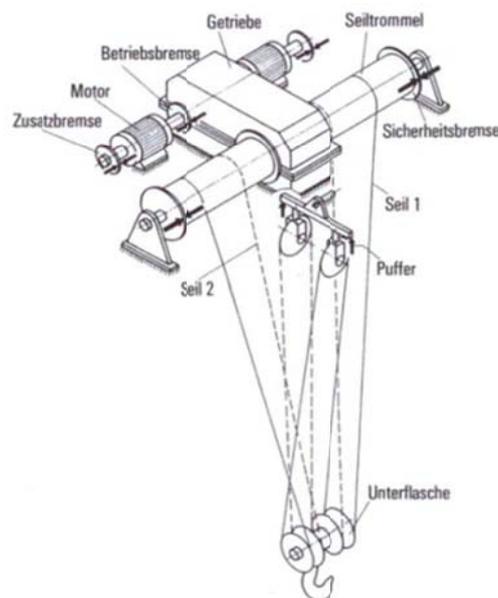
Barrieren, die eine störfallbedingte Freisetzung von radioaktiven Stoffen aus den Endlagerbehältern in die Anlage und aus der Anlage heraus zuverlässig verhindern würden, werden nicht ausgewiesen. Die Frage nach den radiologischen Konsequenzen und der Einhaltung der Störfallplanungswerte gemäß § 49 StrISchV würde im Wesentlichen nur noch vom Quellterm infolge einer mechanischen oder thermischen Einwirkung auf das Abfallgebäude abhängen. Diese Einschätzungen legen die Schlussfolgerung nahe, dass störfallbedingte Freisetzungen aus den endzulagernden Abfallgebäuden beim Betrieb der Einlagerungsmaschine durch die Auslegung der Einlagerungsmaschine ausgeschlossen werden müssen (Störfallklasse 2).

Endlager für radioaktive Abfälle in Bergwerken stellen technische Unikate dar, dies gilt im Detail auch für die Einlagerungsmaschine. Ein kerntechnisches Regelwerk, das unmittelbar auslegungsbestimmend für die Einlagerungsmaschine zur Bohrlochlage-

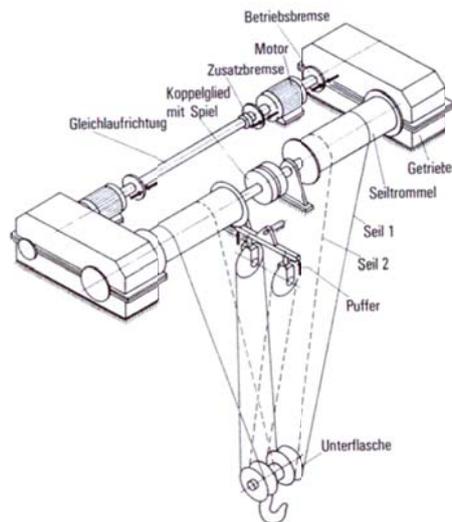
rung von Kokillen ist, liegt nicht vor. Unter diesen Randbedingungen werden entsprechende Anforderungen, z. B. des kerntechnischen Regelwerks, sinngemäß angewendet. Für die Ableitung von Auslegungsanforderungen der Einlagerungsmaschine drängt sich die sinngemäße Anwendung der KTA-Regel 3902 "Auslegung von Hebezeugen in Kernkraftwerken" /KTA 99/ auf. Die KTA-Regel 3902 bezieht sich in Teilen explizit auf die Auslegung von Brennelementwechsellmaschinen, für die so genannte erhöhte Anforderungen zu berücksichtigen sind. Die erhöhten Anforderungen sind insbesondere dann auslegungsbestimmend, wenn störfallbedingte Freisetzungen zu einer radiologischen Belastung in der Umgebung eines Kernkraftwerkes führen können. Dieser Sachverhalt begründet die sinngemäße Anwendung der entsprechenden Auslegungsanforderungen an die Einlagerungsmaschine. Wesentliche Anforderungen der KTA beziehen sich auf die Ausführung für

- Hubwerke mit einer doppelten Triebwerkskette oder
- Hubwerke mit einer einfachen Triebwerkskette mit Sicherheitsbremse.

Die Abbildungen 3.1 und 3.2 zeigen die Prinzipien dieser Hubwerke.



**Abb. 3.1** Hubwerk mit einer Triebwerkskette und Sicherheitsbremse (KTA 3902)



**Abb. 3.2** Hubwerk mit doppelter Triebwerkskette und hintereinander angeordneten Seiltrommeln ohne Sicherheitsbremse (KTA 3902)

Bei der Einlagerungsmaschine /TEC 08/ bzw. /ISI 08/ handelt es sich um eine Einseil-Fördermaschine. Die Überprüfung der Einlagerungsmaschine anhand der Anforderungen der KTA 3902 bezüglich der Hubwerke endet bereits an dieser Stelle, da die Einlagerungsmaschine über kein zu den genannten Hubwerken vergleichbares Hubwerk verfügt.

Neben den Anforderungen an die Hubwerke stellt die KTA 3902 dezidierte Anforderungen an

- Tragwerke,
- Fahrwerke,
- Lastaufnahmeeinrichtungen sowie
- elektrische Einrichtungen.

Eine Überprüfung der Auslegung der Einlagerungsmaschine anhand dieser Anforderungen war nicht möglich, da entsprechende Unterlagen zur Einlagerungsmaschine nicht vorliegen. Die vorliegenden Kenntnisse zum Hubwerk der im Demonstrationsversuch eingesetzten Einlagerungsmaschine zeigen allerdings, dass diese nicht über die Auslegungsmerkmale verfügt, die störfallbedingte mechanische Einwirkungen auf die endzulagernden Endlagerbehälter mit der notwendigen Sicherheit ausschließen. Hierzu müsste die Einlagerungsmaschine entsprechend den erhöhten Anforderungen, die

entsprechend der KTA 3902 für Brennelementwechsellmaschinen gelten, ausgelegt werden.

Es gehört zu den sicherheitstechnischen Standards, Betriebserfahrungen auszuwerten und den Erfahrungsrückfluss für den Betrieb und insbesondere für Neu- und Weiterentwicklung von entsprechenden Systemen zu nutzen. Bei der Handhabung von Brennelementen mit Brennelementwechsellmaschinen in Kernkraftwerken kam es in den vergangenen Jahren zu Zwischenfällen, indem sich z. B. Brennelemente vom Anschlagmittel der Brennelementwechsellmaschine lösten und im Abklingbecken zu Boden sackten. Die Auswertung derartiger Ereignisse stellen eine Basis für die Weiterentwicklung und Auslegung der Einlagerungsmaschine dar.

Mit der Endlagerung der Kokillen in bis zu 300 m tiefen Bohrlöchern wird aus kerntechnischer Sicht Neuland beschritten. Um die Machbarkeit dieser Vorgänge im Sinne der Anforderungen in einem Genehmigungsverfahren aufzuzeigen, wird es zukünftig erforderlich werden, die Funktionsweise der Technik unter realen Bedingungen zu erproben bzw. zu demonstrieren.



## 4 Einschätzungen zu den Rückholungsvorgängen

### 4.1 Kriterien für die Bewertung der Rückholung

Zur Rückholung von Abfallgebänden mit wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen wurden durch das Unternehmen nse im Vorhaben VSG Studien zur Rückholung von Abfallgebänden, die entsprechend der Einlagerungsvarianten B1 und C eingelagert wurden, erarbeitet. Die Ergebnisse der Untersuchungen zur Rückholung von in Strecken eingelagerten Abfallgebänden (Einlagerungsvariante B1) sind in der Unterlage /NSE 11/ und die Rückholung von in Bohrlöchern eingelagerten Abfallgebänden in der Unterlage /NSE 12/ dokumentiert. Die Arbeiten erfolgen im Rahmen des Arbeitspaketes 6 "Endlagerauslegung und -optimierung" des Vorhabens VSG. Die Studien zur Rückholung von in Bohrlöchern endgelagerten Abfallgebänden führten zu einer Weiterentwicklung des Konzepts der Bohrlochlagerung. Die Untersuchungen zur Rückholung von in Bohrlöchern endgelagerten Abfallgebänden ergaben technisch begründete Zweifel an der Machbarkeit der Rückholung von Abfallgebänden aus unverrohrten Bohrlöchern. Die Planung der Einlagerungsvariante C wurde vor diesem Hintergrund auf eine Lagerung in verrohrten Bohrlöchern umgestellt. Insofern bestehen bzgl. der Bohrlochlagerung konzeptionelle Unterschiede zwischen der Unterlage /NSE 12/ und dem von der DBETEC im Arbeitspaket 5 "Endlagerkonzepte" vorgeschlagenen Bohrlochkonzept.

In den Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle /BMU 10/ wird unter Punkt 8.6 festgelegt:

*"In der Betriebsphase bis zum Verschluss der Schächte oder Rampen muss eine Rückholung der Abfallbehälter möglich sein."*

In Kapitel 2 der Sicherheitsanforderungen /BMU 10/ wird der Begriff „Rückholbarkeit“ wie folgt definiert:

*"Als Rückholbarkeit wird die geplante technische Möglichkeit zum Entfernen der eingelagerten radioaktiven Abfallbehälter aus dem Endlagerbergwerk bezeichnet."*

Mit den Sicherheitsanforderungen /BMU 10/ wird erstmals die Notwendigkeit der Rückholbarkeit im Regelwerk verankert. Für das Vorhaben VSG wird das Verständnis zu

Grunde gelegt, dass sich die Anforderung der Rückholbarkeit ausschließlich auf die Betriebsphase und auf wärmeentwickelnde Abfälle bezieht.

Weitere, insbesondere technische Regelwerke, aus denen sich Anforderungen an den Vorgang der Rückholung ergeben, bestehen nicht. Vor diesem Hintergrund werden im Arbeitspaket 12 die nachfolgenden Bewertungsansätze für die Einschätzungen zur Rückholbarkeit zugrunde gelegt.

- Das Endlagerkonzept sollte keine Elemente enthalten, die einer Rückholung von Abfallgebinden entgegenstehen.
- Das Endlagerkonzept sollte auch die Rückholung einzelner Abfallgebinde gewährleisten.
- Die mögliche Rückholung von Abfallgebinden vor dem Verschließen der Schächte ist ein Bestandteil der Betriebsphase. Vom Grundsatz her bestehen an den Nachweis der Machbarkeit und den Stand von Wissenschaft und Technik bezüglich der Rückholung keine anderen Anforderungen als an den Einlagerungsbetrieb.
- Der Rückholungsbetrieb sollte auf der Technik des Einlagerungsbetriebs basieren.
- Eine Rückholung von Abfallgebinden sollte jederzeit möglich sein. Die Durchführung von zusätzlichen Schritten, die keine Umkehrung der Einlagerungsschritte sind, sollten konzeptionell vermieden werden.

#### **4.2 Endlagerkonzept**

Ein zusammenhängendes und in sich schlüssiges Endlagerkonzept, in dem die Rückholung ein integraler Bestandteil ist, besteht derzeit nicht. In sofern besteht für das im Vorhaben VSG zu Grunde gelegte initiale Endlagerkonzept ein Entwicklungsbedarf. Der Entwicklungsbedarf besteht u. a. für die Tagesanlagen mit denen ein kontinuierlicher Umschlag und Abtransport zurückgeholter Abfallgebinde aus dem Endlager sowie ein Haufwerksmanagement, das auch die Möglichkeit der Handhabung von kontaminiertem Haufwerk einschließt, zu gewährleisten ist. Aus technischer Sicht bestehen keine Zweifel, dass sich ein machbares Endlagerkonzept unter Berücksichtigung der Rückholungsoption darstellen lässt.

Die Studien von nse zur Rückholung eingelagerter Abfälle basieren auf den Randbedingungen,

- dass die Einlagerungsprozesse abgeschlossen sind,
- der gesamte Einlagerungsbereich einschließlich der beiden Richtstrecken im Rückbau vollständig versetzt wurden,
- dass alle eingelagerten wärmeentwickelnden Abfälle zurückgeholt werden und
- dass keine erneute Einlagerung radioaktiver Abfälle in dem Endlagerbergwerk erfolgen soll.

Die Studien zur Rückholbarkeit basieren auf der Arbeitsthese, dass alle wärmeentwickelnden Abfälle eingelagert sind, wenn die Entscheidung zur Rückholung der eingelagerten Abfälle getroffen wird. In dieser Phase sind, bis auf den Infrastrukturbereich und die Schächte alle Strecken versetzt und abgedichtet. Unberücksichtigt bleibt hierbei der Aspekt, ob und wie ggf. gezielt einzelne Abfallgebinde zurückgeholt werden können. Die Rückholung von einzelnen Abfallgebinden, müsste durch die Einlagerungstechnik gewährleistet werden. Für die Rückholung einzelner Abfallgebinde ist eine gebirgschonende Vorgehensweise erforderlich, da die intakten geologischen und geotechnischen Barrieren für den Einschluss der nicht zurückgeholt Abfallgebinde erforderlich sind.

Im Vorhaben VSG wurde optional angenommen, dass in dem Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle in einem gewissen Umfang auch radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung endgelagert werden. Die Anforderung zur Rückholbarkeit der radioaktiven Abfälle bezieht sich gemäß /BMU 10/ nur auf die wärmeentwickelnden Abfälle. Mit der Rückholung der wärmeentwickelnden Abfälle wird das Endlagerbergwerk ggf. so verändert, dass der Verbleib der vernachlässigbar wärmeentwickelnden Abfälle im Endlager aus Sicht des für das gesamte Endlager geführten Langzeitsicherheitsnachweises nicht zwangsläufig unterstellt werden kann. Aus Sicherheitsanalysen wäre insofern abzuleiten, dass die vernachlässigbar wärmeentwickelnden Abfälle langzeitsicher im Endlager verbleiben können, auch wenn die wärmeentwickelnden Abfälle vollständig zurückgeholt werden. Alternativ wäre auch ein betriebliches Konzept zur Rückholung der vernachlässigbar wärmeentwickelnden Abfälle erforderlich.

#### **4.3 Einlagerungsvariante B1**

Im Zuge der Rückholung der in Strecken eingelagerten POLLUX-Behälter würden die Strecken, die als Transportstrecken für die Einlagerung genutzt wurden, wieder aufge-

wältigt. Die Einlagerungsstrecken, in denen die Abfallgebände endgelagert sind, bleiben zunächst unverritzt. Um die Abfallgebände zu erreichen, werden parallel der Einlagerungsstrecken neue Strecken aufgeföhren. Diese Strecken liegen in den Felsen, die sich zwischen den ursprünglichen Einlagerungsstrecken befinden. Diese neu aufgeföhrenen Strecken werden nachfolgend als Rückholungsstrecken bezeichnet.

Die wiederaufzuföhrenden Strecken und insbesondere die Rückholungsstrecken liegen in einem Gebirgsbereich, der aufgrund der eingelagerten wärmeentwickelnden Abfälle auf bis zu 200 °C aufgeheizt ist. Hierdurch ergeben sich besondere und grenzwertige Randbedingungen für die Durchführung von bergbaulichen Arbeiten zur Rückholung der Abfallgebände. Über die Wetterströme muss eine Abkühlung mit sehr hohen Temperaturgradienten erreicht werden, so dass bergbauliche Arbeiten entsprechend den Anforderungen des bergbaulichen Regelwerks, z. B. der Klimabergverordnung, erfolgen können. Die extremen Temperaturbedingungen im Aufföhrensgebiet begrenzen die Vortriebsgeschwindigkeiten bei der Aufföhren. Die temperaturtechnischen Randbedingungen werden die Zeitdauer der Rückholung beeinflussen. Vor dem Hintergrund, dass die Entscheidung für eine Rückholung gegebenenfalls auch von der Dauer der Rückholung abhängen wird, wird die zukünftige Weiterentwicklung auch eine belastbare Quantifizierung der Rückholung der Abfälle erforderlich machen. Diese Ergebnisse können dann Grundlage für eine Optimierung der Rückholungszeit sein.

In der Unterlage /NSE 11/ wird die Machbarkeit der Streckenaufföhren unter den temperaturtechnischen Randbedingungen plausibel unterstellt. Ein Analogon zu dieser Vorgehensweise besteht im Bergbau nicht, in sofern würde mit der skizzierten Vorgehensweise bergbauliches Neuland beschritten. Der Stand der Technik wäre für die geplante Vorgehensweise zukünftig aufzuzeigen.

Die Studie von nse sieht vor, dass von den Rückholungsstrecken aus, die parallel zu den ehemaligen Einlagerungsstrecken verlaufen, seitlich Nischen zu den eingelagerten Abfallgebänden gestoßen werden. Die eingelagerten POLLUX-Behälter werden freigelegt und über die Sohle in die Rückholungsstrecke gezogen. Dort werden die Abfallgebände von einem selbstföhrenden Fahrzeug aufgenommen und abtransportiert. Im Zuge des Transports zum Schacht soll das Abfallgebände auf ein schienengebundenes Transportfahrzeug umgeladen werden.

Das Freilegen der eingelagerten Abfallgebände sowie das Ziehen der Behälter in die Rückholungsstrecke erfordert, dass die Schienen in der Einlagerungsstrecke, auf de-

nen der Einlagerungsvorgang erfolgte, unmittelbar nach der Einlagerung eines Abfallgebundes entfernt werden. Die Entfernung der Schienen im Bereich eines eingelagerten Abfallgebundes ergibt sich als Sachzwang aus der Rückholungsplanung. Der Rückbau der Schienen hat allerdings zur Konsequenz, dass nach ihrer Entfernung eine Rückholung einzelner Abfallgebünde in der technischen Weise wie sie endgelagert wurden, nicht mehr möglich ist.

Wenn die Rückholung der endgelagerten Abfallgebünde weitestgehend mit den Systemen, mit denen auch die Einlagerung durchgeführt wurde, erfolgen kann, hätte das folgende sicherheitstechnische Vorteile:

- Für die Rückholung wären über die Betriebsphase keine Systeme betriebsbereit vorzuhalten, die im Sinne der angestrebten Endlagerung nicht zum Einsatz kommen sollten.
- Die Betriebserfahrungen, die mit den Einlagerungssystemen gemacht wurden, würden auch für eine ggf. notwendige Rückholung der Abfallgebünde genutzt.

Für die Weiterentwicklung des Rückholungskonzeptes wäre insofern die Planungsprämisse vorteilhaft, für die Einlagerung und mögliche Rückholung möglichst einheitliche Systeme zu planen.

#### **4.4 Einlagerungsvariante B2**

Die Einlagerungsvariante B2 basiert auf der Endlagerung der wärmeentwickelnden Abfälle in den Transport- und Zwischenlagerbehältern, in denen diese zurzeit zwischengelagert werden. Diese Behälter sollen in horizontalen Bohrlöchern endgelagert werden. Geplant ist, jeweils ein Abfallgebünde in ein Bohrloch einzusetzen /BOL 11/.

Wie in Kapitel 3.5.3 ausgeführt, handelt es sich bei der Differenzbetrachtung der Einlagerungsvariante B2 um erste Studien. Mit der Darstellung der Einlagerungsvariante B2 im Bericht /BOL 11/ wird nicht der Anspruch der Machbarkeit aufgezeigt. In /BOL 11/ wird u. a. die Notwendigkeit von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur *“Realisierbarkeit der Schachtförderanlage, Realisierbarkeit des Streckentransportes und der Einlagerung unter Tage für TLB bis 160 t“* aufgezeigt.

In /NSE 11/ wird zur Rückholung endgelagerter TLB ausgeführt, dass die Rückholung analog den endgelagerten POLLUX-Behältern erfolgen kann. D. h., es würden parallel

zu den TL B (axiale Richtung) Rückholungsstrecken aufgeföhren, von denen aus Durchbrüche zu den eingelagerten TLB gestoßen werden. Die weiteren Schritte zur Rückholung würden analog zur Rückholung der POLLUX-Behälter erfolgen.

#### **4.5 Einlagerungsvariante C**

Das wesentliche Ergebnis der Studien und Untersuchungen von NSE zur Rückholung von endgelagerten Kokillen in bis zu 300 m tiefen Bohrlöchern war, dass eine Rückholung aus unverrohrten Bohrlöchern nicht möglich ist. In Kooperation zwischen NSE und DBETEC wurde im Vorhaben VSG eine Studie zur Bohrlochlagerung in verrohrten Bohrlöchern entwickelt (NSE 12/).

Die Verrohrung würde segmentweise in das bis zu 300 m tiefe Bohrloch eingebracht. Die einzelnen Segmente könnten verschraubt oder verschweißt werden. Im Bohrlochtieftsten würde das Rohr durch einen Boden verschlossen. Nach vollständiger Befüllung des verrohrten Bohrlochs mit Kokillen wird das Rohr mit einem Deckel verschlossen. Die Hohlräume zwischen den eingelagerten Kokillen und dem Rohr werden sukzessive nach jeder eingebrachten Kokille mit einem rieselfähigen Material versetzt. Zur Gewährleistung der Rückholung sollen keine zylindrischen sondern leicht konische Kokillen zum Einsatz kommen. Im Falle einer Rückholung soll das Versatzmaterial aus dem Einlagerungsrohr sukzessive, so wie es eingebracht wurde, abgesaugt werden. Sofern sich Kokillen bei der Rückholung als festsetzend erweisen, sollen diese durch die Rückholungsmaschine, die der Einlagerungsmaschine entspricht, frei gerüttelt werden.

Die Vorgänge der Einlagerung und Rückholung von Kokillen aus verrohrten Bohrlöchern wird in (NSE 12/) plausibel und nachvollziehbar dargestellt. Gleichwohl sich aus (NSE 12/) einige Hinweise auf partiell vergleichbare Vorgehensweisen im konventionellen Bergbau und der Exploration von Bodenschätzen ergeben, entspricht das vorgeschlagene Bohrlochkonzept, insbesondere unter dem Aspekt der Rückholung, nicht dem Stand der Technik. Das Konzept, das zurzeit auf intensiven Studien basiert, bedarf einer Weiterentwicklung im Detail. Die Weiterentwicklung des Endlagerkonzepts sowie der Endlagerbehälter wird u. a. auf betrieblichen Sicherheitsanalysen basieren. Die Durchführung dieser Sicherheitsanalysen ist aufgrund des vorliegenden Detaillierungsgrades für das initiale Endlagerkonzept nicht möglich.

Für das Bohrlochkonzept würde die Rückholung der Abfallgebände mit der Maschine erfolgen, mit der die Abfallgebände endgelagert wurden. Die Hinweise, die in Kapitel

3.5.4 zur technischen Auslegung der Einlagerungsmaschine abgeleitet wurden, sind entsprechend um die Anforderungen, die sich aus der Rückholung ergeben, zu ergänzen. Der Nachweis der Machbarkeit, dass mit der vorgeschlagenen Einlagerungsmaschine auch feststehende Kokillen gezogen bzw. freigerüttelt werden können, ist noch zu führen. In diesem Zusammenhang ist auch zu untersuchen, wie sich das System verhält, wenn sich eine feststehende Kokille unter Seilspannung spontan löst.

Die in Bohrlöchern endgelagerten Kokillen können außerhalb der Bohrlöcher aufgrund ihrer Dosisleistung nicht ohne entsprechende Transport- und Abschirmbehälter gehandhabt werden. Die Transferbehälter, mit denen die Kokillen an das Endlager angeliefert wurden, verfügen über keine Typ B-Zulassung. Diese Zulassung ist notwendig, um die Abfallgebinde über öffentliche Verkehrswege zu transportieren. Vor diesem Hintergrund wird noch der Nachweis zu führen sein, wie die Kokillen in einem geordneten Rückholungsbetrieb aus dem Endlager geborgen werden können, wenn das Endlager über keine eigene Behandlungsanlage für die Kokillen verfügt. Mit dieser Behandlungsanlage müssten die Kokillen aus dem innerbetrieblichen Transferbehälter z. B. in TLB umgepackt werden. Wenn die Rückholbarkeit der Kokillen an die Verfügbarkeit bzw. die Betriebsbereitschaft der benachbarten Konditionierungsanlage, die über eine vom Endlager unabhängige Betriebsgenehmigung verfügt, geknüpft wird, ist dies aus verfahrenstechnischer Sicht als problematisch zu bewerten.



## 5 Zusammenfassung

Im Arbeitspaket 12 der Vorläufigen Sicherheitsanalysen Gorleben (VSG) wurden Einschätzungen zur betrieblichen Machbarkeit und Umsetzbarkeit der Endlagerkonzepte abgeleitet. Die Einschätzungen basieren auf den Endlagerkonzepten, die als initiale Konzepte im Arbeitspaket 5 (Endlagerkonzepte) als Basis für die nachfolgenden Sicherheitsanalysen vorgeschlagen wurden. Darüber hinaus wurden die Studien, die von nse und DBE TECHNOLOGY GmbH zur Rückholung endgelagerter Abfälle erarbeitet wurden, berücksichtigt.

Das im Vorhaben VSG verwendete initiale Endlagerkonzept weist aus betrieblicher Sicht zwei grundlegende Merkmale auf.

- Die Rückholbarkeit der endgelagerten Abfälle muss gemäß den "Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle" über die Betriebsphase gewährleistet sein.
- Ein abgesichertes Endlagerkonzept baut auf einem abgesicherten Behälterkonzept auf.

Zur Rückholbarkeit, die im initialen Endlagerkonzept nicht berücksichtigt werden konnte, wurden im Rahmen des Vorhabens VSG erste Studien erarbeitet, die bereits zu einer Weiterentwicklung des Endlagerkonzepts geführt haben. Diese Weiterentwicklung konnte im Vorhaben VSG nicht abgeschlossen werden. Im Arbeitspaket 12 wurden für diese Weiterentwicklung Hinweise auf notwendige F&E-Arbeiten abgeleitet.

Das Behälterkonzept, das dem Endlagerkonzept zugrunde gelegt wurde, hat teilweise den Status eines ersten Iterationsschrittes. Dies betrifft insbesondere solche Endlagerbehälter, die zurzeit konzeptionell nur als Entwurf existieren. Dieser Sachverhalt ist nicht als Defizit zu bewerten. Er charakterisiert letztlich den noch notwendigen Entwicklungsbedarf. Abschließende Anforderungen an die Endlagerbehälter werden sich aus den betrieblichen und standortbezogenen Sicherheitsanalysen ergeben.

Die noch zu erwartende Entwicklung der Endlagerbehälter wird ggf. die auch aus anderen Gründen noch notwendige Entwicklung der betrieblichen Systemtechnik beeinflussen. Technische und insbesondere sicherheitstechnische Zweifel an der Machbarkeit und Umsetzbarkeit eines betrieblichen Endlagerkonzepts wurden im Arbeitspaket 12 nicht identifiziert. Einzelhinweise zur Weiterentwicklung der Endlagerkonzepte wurden

abgeleitet. Bei der Weiterentwicklung ist das Festhalten an bestehenden Grundkonzepten, z. B. einer Anlage mit zwei Schächten, nicht zwingend zielführend. Eine entsprechende Auseinandersetzung mit den sicherheitstechnischen Vor- und Nachteilen sollte mit der Weiterentwicklung des Endlagerkonzeptes erfolgen.

Bei den Einschätzungen zur Einlagerungsvariante B1 konnte vielfach von den Demonstrationsversuchen Kredit genommen werden, die Anfang der 90er Jahre durchgeführt wurden. Am Beispiel dieser Variante wurde allerdings deutlich, dass in der konzeptionellen Weiterentwicklung die Einlagerungs- und Rückholtechnik aufeinander abgestimmt werden müssten. Mit der Rückholung der wärmeentwickelnden Abfälle aus Strecken würde aufgrund der Erwärmung des Gebirges aus bergbaulicher Sicht Neuland betreten. Die Nachweise zur Machbarkeit der notwendigen bergbaulichen Aktivitäten und die Einhaltung der entsprechenden Randbedingungen bleiben späteren Genehmigungsverfahren vorbehalten.

Die umfassendsten Hinweise ergaben sich zur Einlagerungsvariante B2. Die Hinweise zur Handhabung der Gebinde über Tage, zum Schachttransport, zur Einlagerung sowie zur Rückholung zeigen einen noch sehr umfassenden Entwicklungsbedarf auf.

Für die Einlagerung von Kokillen in bis zu 300 m tiefe vertikale verrohrte Bohrlöcher wurden Hinweise zur Machbarkeit und Umsetzbarkeit identifiziert. Diese betreffen insbesondere die Herstellung der verrohrten Bohrlöcher, die KTA-Auslegung der Einlagerungs- und Rückholungsmaschine und das Lösen festsitzender Kokillen bei der Rückholung. Sofern diese Einlagerungsvariante zukünftig weiter verfolgt wird, müsste sie bis zur Anwendungsreife weiter entwickelt werden. Der Nachweis der Machbarkeit und des Standes von Wissenschaft und Technik müsste zukünftig über Demonstrationsversuche unter realen Randbedingungen in einem entsprechenden Bergwerk erbracht werden.

## Literaturverzeichnis

- /AND 05/ Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs (ANDRA): Dossier 2005 Argile, Les recherches de l' Andra sur le stockage géologique des déchets radioactifs a haute activité et á vie longue. Décembre 2005.
- /BEU 97/ Beuth, T.: Sicherheitstechnische Bewertung von F&E-Arbeiten zur Direkten Endlagerung abgebrannter Brennelemente und wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle. 33 Seiten, Schlussbericht zum Vorhaben SR 2206, GRS-A-2527, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH: Köln, Dezember 1997.
- /BMU 10/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle. Bonn, Stand: 30. September 2010.
- /BOL 11/ Bollingerfehr, W., Filbert, W., Lerch, C., Tholen, M.: Endlagerkonzepte. Bericht zum Arbeitspaket 5, Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben, GRS-272, ISBN 978-3-939355-48-9, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH: Köln, 2011.
- /CHA 10/ Chambers, M.: Olympic Dam accident may cost \$228m. [HTML], Stand vom 11.02.2010, erreichbar unter:  
<http://www.theaustralian.com.au/business/olympic-dam-accident-may-cost-228m/story-e6frg8zx-1225828957486>, zitiert am 4. Juni 2012.
- /DBE 95/ 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.
- /GNS 09/ GNS Gesellschaft für Nuklear-Service mbH: Disposal of Spent Fuel From German Nuclear Power Plants. Proceedings ICEM 2009: Liverpool, 2009.

- /ISI 08/ Bollingerfehr, W., Buhmann, D., Filbert, W., Heusermann, S., Keller, S., Kreienmeyer, M., Krone, J., Mönig, J., Tholen, M., Weber, J.R., Wolf, J.W.: Überprüfung und Bewertung des Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HAW (Projekt ISIBEL), Zusammenfassender Abschlussbericht. TEC-09-2008-AB, 95 Seiten, DBE TECHNOLOGY GmbH, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR): Peine, Braunschweig, Hannover, April 2008.
- /KTA 99/ Kerntechnischer Ausschuss (KTA): Sicherheitstechnische Regel des KTA, Auslegung von Hebezeugen in Kernkraftwerken. KTA 3902, Fassung 6/1999, 1999.
- /NSE 11/ nse - international nuclear safety engineering GmbH: Auslegungsrelevante Ergebnisse aus der Aufgabe Rückholung / Handhabbarkeit für Varianten B1 und B2. Zwischenbericht (Entwurf) zum Arbeitspaket 6, Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben, 30. Juni 2011.
- /NSE 12/ nse - international nuclear safety engineering GmbH, DBE TECHNOLOGY GmbH: Konzept Rückholung zu Variante C. MEMO 20120113-nse/DBE TECHNOLOGY GmbH zum Arbeitspaket 6, Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben, Januar 2012.
- /REU 09/ Reuters: BHP studying output impact of Olympic Dam accident. [HTML], Stand vom 7.10.2009, erreichbar unter: <http://www.reuters.com>, zitiert am 04. Juni 2012.
- /TEC 08/ DBE TECHNOLOGY GmbH: Optimierung der Direkten Endlagerung durch Kokillenlagerung in Bohrlöchern, Projekt DENKMAL. Versuchsstand Kraftwerk Robert Frank, 31628 Landesbergen: Peine, September 2008.

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1	In- und Output aus dem Arbeitspaket 12 im Vorhaben VSG.....	2
Abb. 3.1	Hubwerk mit einer Triebwerkskette und Sicherheitsbremse (KTA 3902).....	19
Abb. 3.2	Hubwerk mit doppelter Triebwerkskette und hintereinander angeordneten Seiltrommeln ohne Sicherheitsbremse (KTA 3902).....	20



## **Tabellenverzeichnis**

Tab. 2.1	Geplante Auslegungsdaten der Hauptseilfahranlage im Schacht 2.....	4
----------	--	---

**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)

**ISBN 978-3-939355-55-7**