

**Überprüfung und Bewertung des Instru-
mentariums für eine sicherheitliche
Bewertung von Endlagern für HAW**

ISIBEL

AP2: Bewertung der Betriebssicherheit

**Überprüfung und Bewertung des Instru-
mentariums für eine sicherheitliche
Bewertung von Endlagern für HAW
ISIBEL
AP2: Bewertung der Betriebssicherheit**

W. Filbert; M. Pöhler

DBE TECHNOLOGY GmbH
Eschenstraße 55
D-31224 Peine

TEC-17-2008-AP
Gesamtzahl der Seiten: 63

FKZ 02 E 10065

Ersteller: 04.04.08 	Prüfer: 25.04.08 	Freigabe: 29.04.08 
Datum/Unterschrift	Datum/Unterschrift	Datum/Unterschrift

April 2008

Vorwort

Im Rahmen des Vorhabens ISIBEL wurde ein Nachweiskonzept für die sicherheitliche Bewertung von Endlagern für hochradioaktive Abfälle in der Wirtsgestein Salz entwickelt und untersucht, inwieweit das Instrumentarium für die Bewertung der Betriebs- und Nachbetriebsphase eines solchen Endlagers vorhanden, bzw. ausreichend ist. Zusätzlich wurde ein FEP-Katalog erarbeitet, in dem alle relevanten FEP zusammengestellt wurden. Die im Zeitraum vom 01.10.2005 bis 31.12.2007 durchgeführten Arbeiten sind in den folgenden Berichten zusammengefasst.

Zusammenfassender Abschlussbericht

Überprüfung und Bewertung des Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HAW – ISIBEL. Gemeinsamer Bericht von DBE TECHNOLOGY GmbH, BGR und GRS. DBE TECHNOLOGY GmbH Peine, April 2008

Einzelberichte der Organisationen

1. Langzeitsicherheitsanalyse für ein HAW-Endlager im Salz – Geologisches Referenzmodell für einen HAW-Endlagerstandort im Salz – Technischer Bericht. Beitrag für das Projekt ISIBEL. BGR, Hannover, Tagebuchnummer 11614/05, Juli 2007
2. Konzeptionelle Endlagerplanung und Zusammenstellung des endzulagernden Inventars. DBE TECHNOLOGY GmbH, Peine, April 2008
3. Bewertung der Betriebssicherheit. DBE TECHNOLOGY GmbH, Peine, April 2008
4. FEP-Generierung und Szenarienentwicklung – Stand November 2006. BGR, Hannover, Tagebuchnummer 10402/08, Februar 2008
5. Nachweis der Integrität der geologischen Barriere. BGR, Hannover, Tagebuchnummer 10403/08, September 2007
6. Nachweiskonzept zur Integrität der einschlusswirksamen technischen Barrieren. DBE TECHNOLOGY GmbH, Peine, April 2008
7. Untersuchungen zur Ermittlung und Bewertung von Freisetzungsszenarien. GRS Braunschweig, Bericht GRS-233, April 2008
8. Nachweiskonzepte für die Einhaltung der nicht radiologischen Schutzziele in der Nachbetriebsphase. DBE TECHNOLOGY GmbH, Peine, April 2008
9. FEP-Katalog für einen HAW-Standort im Wirtsgestein Salz. Version 01. Gemeinsamer Bericht von DBE TECHNOLOGY GmbH, BGR und GRS. Peine, Hannover, Braunschweig, April 2008

**W. Filbert
M. Pöhler**

DBE TECHNOLOGY GmbH

Die dieser Studie zugrunde liegenden Arbeiten wurden im Auftrag des BMWi vertreten durch den Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe, Bereich Wassertechnologie und Entsorgung, (PTKA-WTE) unter dem Förderkennzeichen 02 E 10065 von DBE TECHNOLOGY GmbH durchgeführt. Die Verantwortung für den Inhalt liegt jedoch allein bei den Autoren.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	2
1 Einleitung	7
2 Radiologische Sicherheit	9
2.1 Grundlagen	9
2.1.1 Rechtsnormen zur Radiologischen Betriebssicherheit	9
2.1.2 Untergesetzliche sicherheitstechnische Grundlagen	10
2.1.2.1 Grundlagen für die Sicherheit von Kernkraftwerken	10
2.1.2.2 Grundlagen für die Sicherheit von Endlagern	12
2.2 Erforderliche Nachweise für die Sicherheit von Kernkraftwerken (Sicherheitsebene)	13
2.2.1 Sicherheitsanalyse (deterministisch)	13
2.2.2 Probabilistische Sicherheitsanalysen (PSA)	13
2.2.2.1 Fehlerbaumanalysen	14
2.2.2.2 Ereignisablaufanalysen	15
2.2.2.3 Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen	16
2.3 Erforderliche Nachweise für die Sicherheit von Endlagern (Störfälle)	16
2.3.1 Deterministische Sicherheitsanalyse (Betriebsphase)	16
2.3.1.1 Deterministische Systemanalyse	17
2.3.2 Deterministische Störfallanalyse (Nachweis Schadensvorsorge)	25
2.3.3 Probabilistische Sicherheitsanalysen (Betriebsphase)	26
2.3.3.1 Schutzziel/Risikokriterium	26
2.3.3.2 Szenarienauswahl	26
2.3.3.3 Szenarienanalyse/ Konsequenzenanalyse	27
2.3.3.4 Eintrittswahrscheinlichkeit	27
2.3.3.5 Berücksichtigung von Unsicherheiten	27
2.3.3.6 Methoden	27
2.4 Mögliche FuE-Arbeiten	28
2.4.1 Sedimentation	28
2.4.2 Generierung von Ausfalldaten	28
3 Betriebliche Sicherheit	29

3.1	Darstellung der Betriebsabläufe	30
3.1.1	Betriebsabläufe auf der Einlagerungssohle	34
3.1.1.1	Betriebsabläufe auf der Einlagerungssohle im Überwachungsbereich	34
3.1.1.2	Betriebsabläufe auf der Einlagerungssohle im Kontrollbereich	34
3.1.2	Betriebsabläufe auf der Erkundungssohle (Kontrollbereich)	35
3.2	Analyse der möglichen Einwirkungen auf die Betriebsabläufe und Ableitung ggf. erforderlichen Untersuchungsbedarfs	35
3.2.1	Ausfall der Bewetterung	36
3.2.2	Ausfall der Stromversorgung	39
3.2.3	Gebirgsmechanische Einwirkungen	39
3.2.3.1	Querschnittsverminderung	40
3.2.3.2	Sohlenschiefstellung	42
3.2.3.3	Firstsicherung/Löserbildung	43
3.2.4	Zutritt von Lösungen und natürlichen Gasen	43
3.2.5	Anlageninterner Brand	46
3.2.6	Entgleisung eines beladenen Plateauwagens	52
	Tabellenverzeichnis	53
	Abbildungsverzeichnis	54
	Abkürzungsverzeichnis	55
	Literaturverzeichnis	56
Anhang 1:	Betriebsablauf für die Streckenlagerung von POLLUX-Behältern	59
Anhang 2:	Betriebsablauf für die Bohrlochlagerung von BSK 3 sowie HAW-, CSD- B- und CSD-C-Kokillen	60
Anhang 3:	Abschätzung Zeitaufwände für Vor- und Herrichtungsarbeiten	61

1 Einleitung

Grundsätzlich wird angenommen, dass die Einhaltung der Sicherheitsanforderungen des Bergbaus und des Strahlenschutzes einschließlich der Kritikalitätssicherheit im ungestörten Betrieb sowie bei Betriebsstörungen und Störfällen durch geeignete technisch-organisatorische Maßnahmen gewährleistet werden kann, die weitgehend Stand der Technik sind. Die Bewertung der Betriebssicherheit im vorliegenden Vorhaben konzentriert sich daher auf die Identifizierung und Betrachtung von möglichen Schwachstellen und relevanten Störfällen. Dabei ist festzustellen, inwieweit die Einhaltung der Anforderungen an die Betriebssicherheit technisch realisierbar ist oder bereits nachgewiesen wurde bzw. welche Defizite oder Konflikte noch bestehen, die durch zukünftige FuE-Arbeiten oder durch Änderungen des unterstellten Endlagerkonzeptes auszuräumen sind. Die Untersuchung der radiologischen Betriebssicherheit erfolgt für den Bereich der Anlieferung und Umlagerung über Tage, sowie für den Schachttransport und den Kontrollbereich des Endlagerbergwerks. Die Untersuchung der betrieblichen Sicherheit erfolgt für den Schachttransport und den Kontrollbereich des Endlagerbergwerks.

In einem ersten Schritt wird die Vorgehensweise und der Stand der Technik bei der Durchführung von Störfallanalysen (deterministisch/probabilistisch) dargestellt.

Weiterhin ist zu prüfen, welchen Einwirkungen von außen den Endlagerbetrieb ab Schachttransport und unter Tage hinsichtlich zu berücksichtigende Störfälle beeinflussen können. Zu untersuchen sind naturbedingte und sonstige Einwirkungen von außen wie

- Zutritt von Schachtwässern und salinaren Lösungen in das Grubengebäude
- Erdbeben
- Hochwasser
- Sturm, Eis und Schnee, Blitzschlag
- Explosionsdruckwellen
- Ansaugen durch fähige und toxische Gase
- Flugzeugabsturz

Die Störfallauswahl, die Auswahl der Störfallgruppe, die Einstufung und die Angaben zu den Störfalldefinitionen erfolgten in enger Anlehnung an die Vorgehensweise bei der Störfallanalyse von Endlagerprojekten. Neben den geologischen Formationen, den Abfallspektren und den Handhabungstechniken sind bei der vorliegenden Störfallanalyse weiterhin zu berücksichtigen:

- Absturz der Endlagergebäude bei der Bohrlochlagerung
- Brand
- Kritikalität
- Radiolysegasentwicklung (zündfähige Gasgemische)
- Gebirgsmechanische Ereignisse aufgrund des Wärmeeintrags in die Salzformation.

Nach Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchungen ist für erkannte Defizite oder noch fehlende Grundlagen zur Bewertung ein Arbeitsprogramm zur Behebung der Defizite und evtl. zur Erweiterung der Datenbasis aufzustellen.

Auf der Grundlage der in AP 1.2 Konzeptionelle Endlagerplanung beschriebenen Abfallgebinde und den Varianten zur Transport- und Einlagerungstechnik sowie Logistik und des dort entworfenen Grubengebäudes erfolgt die Analyse der Betriebssicherheit hinsichtlich der Betriebsabläufe und der bergbaulichen Einwirkungsmöglichkeiten auf das Endlagersystem. Diese Analyse umfasst anlageninterne Ereignisse im Bereich des Schachttransports und im Kontrollbereich unter Tage. Mögliche Auswirkungen von Betriebsstörungen im Überwachungsbereich auf dem Kontrollbereich werden untersucht und bewertet.

Untersucht wird, inwieweit die konzipierte Maschinentechnik zur Endlagerung die bisher in verschiedenen maschinentechnischen Versuchen sicherheitstechnisch relevanten Anforderungen insgesamt und im einzelnen erfüllt. Insbesondere wird der Einfluss der Wirtsgesteinskonvergenz auch unter Berücksichtigung der zusätzlichen thermomechanischen Auswirkungen aufgrund der eingebrachten Wärmequellen, auf die eingesetzte Technik und die Schnittstellen im Ablauf abgeschätzt und bewertet. Weiterhin werden die erforderlichen Schutzmaßnahmen gegen Firstfall sowie mögliche Laugenzuflüsse aus dem Gebirge hinsichtlich Kontrollintervalle und evtl. erforderliche Gegenmaßnahmen untersucht.

Den Untersuchungen werden Unterlagen aus dem abgeschlossenen FuE-Projekt Direkte Endlagerung ausgedienter Brennelemente (DEAB), den GRS Kommentaren zu den FuE-Arbeiten DEAB aus dem laufenden FuE-Vorhaben „Optimierung der Direkten Endlagerung durch Kokillenlagerung in Bohrlöchern“, dem HAW-Versuch, dem Betrieb Gorleben, die Störfallanalyse Morsleben, TÜV-Gutachten zum Standort, Bau und Anlagentechnik Konrad sowie den EU-Unterlagen Konrad zugrunde gelegt. Aus den Ergebnissen der Bearbeitung wird im Rahmen einer Defizitanalyse die Einhaltung der Anforderungen nachgewiesen bzw. bei Nichteinhaltung Wege aufgezeigt, die den Nachweis der Einhaltung der Anforderungen ermöglichen.

2 Radiologische Sicherheit

Neben Schäden, die aufgrund des bestimmungsgemäßen Betriebes (Normalbetrieb und anomaler Betrieb) einer Anlage hervorgerufen werden können, können auch Schäden bei Störfällen á priori nicht ausgeschlossen werden.

Die im Rahmen der „Überprüfung und Bewertung des Instrumentariums für eine sicherheitliche standortunabhängige Bewertung von Endlagern für HAW und ausgediente Brennelemente“ unter AP 2 durchzuführende Überprüfung und Bewertung der „Radiologischen Betriebssicherheit“ betrifft die Störfallvorsorge während der Betriebsphase und erstreckt sich ausschließlich auf den Bereich der Anlieferung und Umlagerung über Tage, den Schachttransport und den Kontrollbereich unter Tage. Die Erkundung, bergmännische Errichtung, Stilllegung und Nachbetriebsphase des Endlagerbergwerkes sind nicht Gegenstand dieser Arbeit.

2.1 Grundlagen

Die Endlagerung radioaktiver Abfälle wird durch Rechtsnormen und untergesetzliche Regelungen geregelt.

Rechtsnormen sind generell abstrakte Regelungen, die Pflichten und Rechte für den Bürger oder sonstige selbständige Rechtspersonen begründen, ändern oder aufheben. Hierzu zählen formelle Gesetze des Parlaments als Gesetzgebungskörperschaft, darauf basierende Rechtsnormen und Satzungen (Gesetze im materiellen Sinn) wie in /GRS 2002a/ erläutert.

Untergesetzliche Regelungen sind solche ohne originäre Rechtsnormqualität. Im Gegensatz zu den Gesetzen im materiellen Sinn besitzen die Vorschriften grundsätzlich nicht den Charakter allgemein verbindlicher Regelungen. Zu dieser Kategorie gehören Sicherheitskriterien, Leitlinien, technische Regelwerke und bergbauliche Vorschriften /GRS 2002a/.

2.1.1 Rechtsnormen zur Radiologischen Betriebssicherheit

Neben der Erfüllung der Anforderungen aus Rechtsgebieten wie z. B. Wasserhaushaltsgesetz, Bergrecht, Bundesimmissionsschutzgesetz ist der Erfüllung der Anforderungen aus Gesetzen und Verordnungen zum Schutz des Betriebspersonals und der Bevölkerung vor Strahlenschäden genüge zu tun.

Die hier durchzuführende Überprüfung und Bewertung im Rahmen der Aufgabe „Radiologische Betriebssicherheit“ beschränkt sich auf Überprüfung und Bewertung der Anforderungen die sich aus den nuklearen Vorschriften ergeben.

Im wesentlichen gelten für die Betriebsphase eines Endlagerbergwerkes:

- Die Einhaltung der übergeordneten Vorschriften des „Atomgesetzes“ /AtG 2005/,
- die Einhaltung der Vorschriften der „Strahlenschutzverordnung“ /StrlSchV 2005/ zum Schutz des Betriebspersonals und der Biosphäre gegen Strahlenschäden,
- die Einhaltung der Vorschriften des „Übereinkommens über nukleare Sicherheit“ /IAEA 1994/ und
- die Einhaltung der Vorschriften des „Gemeinsames Übereinkommen über die Sicherheit der Behandlung abgebrannter Brennelemente und über die Sicherheit der Behandlung radioaktiver Abfälle“ /IAEA 1997/.

Die Überprüfung und Bewertung der „Radiologische Betriebssicherheit“ eines Endlagers für HAW und ausgediente Brennelemente bei Störfällen dient der Schadensvorsorge. Entsprechend § 9b, Abs. (4) AtG darf ein Planfeststellungsbeschluss eines Endlagers nur erteilt werden, wenn u. a. „die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden durch die Errichtung und den Betrieb der Anlage getroffen ist“ - § 7, Abs. (2), Nr. 3. AtG.

Entsprechend StrlSchV ist ein Störfall ein „Ereignisablauf, bei dessen Eintreten der Betrieb der Anlage oder die Tätigkeit aus sicherheitstechnischen Gründen nicht fortgeführt werden kann und für den die Anlage auszulegen ist oder für den bei der Tätigkeit vorsorglich Schutzvorkehrungen vorzusehen sind“.

2.1.2 Untergesetzliche sicherheitstechnische Grundlagen

2.1.2.1 Grundlagen für die Sicherheit von Kernkraftwerken

Der Stand von Wissenschaft und Technik in der nuklearen Sicherheit beschreibt das vorhandene und stetig weiterentwickelte Regelwerk zur Sicherheit von Kernkraftwerken.

In dem folgenden Schritt wird dieses Regelwerk kurz dargestellt. In einem weiteren Schritt wird eine sinngemäße Anwendung dieses Regelwerks im Sinne der Aufgabenstellung vorgeschlagen.

Das z. Z. gültige kerntechnische Regelwerk zur Sicherheit von Kernkraftwerken, im wesentlichen niedergelegt in /BAnz. 1977/, /BAnz. 1983/, /RSK 1996/ und /BAnz. 2004/ soll durch das BMU-Vorhaben „Aktualisierung des kerntechnischen Regelwerkes“ /BMU 2005/ entsprechend des heutigen Standes von Wissenschaft und Technik aktualisiert werden. Im Rahmen dieses BMU-Vorhabens wurde eine RSK-Empfehlung zum „Gestaffelten Sicherheitskonzept“ /RSK 2005/ erarbeitet.

Dieses Konzept umfasst eine Kombination verschiedener technischer Systeme sowie administrativer Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Beherrschung von Störungen und Störfällen (Sicherheitsebenen 1 - Normalbetrieb, 2 – Anomaler Betrieb und 3 - Störfälle), zur Begrenzung der Auswirkungen von Unfällen (Sicherheitsebene 4 – sehr seltene Ereignisse, Unfälle und Unfälle mit schweren Kernschäden) und Maßnahmen zur Unterstützung der für den Ka-

tastrophenschutz zuständigen Behörden (Ebene 5 – Unfälle mit erheblichen Freisetzen in die Umgebung). In dieser Arbeit wird nur die Sicherheitsebene 3 betrachtet.

Die GRS hat im Auftrag des BMU beim Vorhaben „Aktualisierung des kerntechnischen Regelwerkes“ unter dem Titel „Grundlagen für die Sicherheit von Kernkraftwerken – Sicherheitsanforderungen nach dem Stand von Wissenschaft und Technik (Sicherheitsanforderungen für Kernkraftwerke“ elf verschiedene Module zu diesem Thema verfasst. Im Modul 1 „Sicherheitsanforderungen für Kernkraftwerke: Grundlegende Sicherheitsanforderungen“ sind die radiologischen Sicherheitsziele auf der Sicherheitsebene 3 wie folgt definiert:

- Bei der Planung von Tätigkeiten zur Beherrschung von Ereignissen, zur Minderung ihrer Auswirkungen oder zur Beseitigung ihrer Folgen für die Strahlenexposition des Personals sind höchstens die einschlägigen Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung zu Grunde zu legen,
- für die Auslegung der Anlage zum Schutz der Bevölkerung vor freisetzungsbedingten Strahlenexpositionen sind höchstens die einschlägigen Störfallplanungswerte der Strahlenschutzverordnung zu Grunde zu legen,
- eine etwaige Freisetzung muss auf den dafür vorgesehenen Freisetzungspfaden erfolgen; die Freisetzung ist zu überwachen und nach Art und Aktivität zu dokumentieren und zu spezifizieren und
- die radiologischen Auswirkungen innerhalb und außerhalb der Anlage sind unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalles so gering wie möglich zu halten.

Weiterhin werden in /GRS 2005a/ u. a. „Zu berücksichtigende Ereignisse“ angeführt. Demnach ist für die zu verwirklichenden Maßnahmen und Einrichtungen u. a. „ein abdeckendes Spektrum an Ereignissen, deren Eintreten während der Betriebsdauer der Anlage nicht zu erwarten, jedoch dennoch zu unterstellen ist (Sicherheitsebene 3)“ zugrunde zu legen. Sie sind in „Sicherheitsanforderungen für Kernkraftwerke: bei Druck- und Siedewasserreaktoren zu berücksichtigende Ereignisse“ dargestellt /GRS 2005b/. Die Vollständigkeit und der abdeckende Charakter der zu betrachtenden Ereignisse sind anlagenspezifisch zu gewährleisten.

Ferner müssen Sicherheitseinrichtungen so ausgelegt sein und sich in einem solchen Zustand befinden und gehalten werden, dass sie ihre sicherheitstechnischen Aufgaben auch bei naturbedingten Einwirkungen, soweit sie in Betracht zu ziehen sind, oder sonstigen Einwirkungen von Außen, wie Störmaßnahmen Dritter erfüllen können.

Dabei sind der Auslegung dieser Einrichtungen zugrunde zu legen:

- Die jeweils folgenschwersten naturbedingten Einwirkungen oder sonstigen Einwirkungen von Außen, die an dem betreffenden Standort berücksichtigt werden müssen.
- Die Besonderheiten lange andauernder äußerer Einwirkungen.
- Kombinationen mehrerer naturbedingter oder sonstiger Einwirkungen von Außen (z. B. Erdbeben, Hochwasser, Sturm, Blitz, Brände) oder Kombinationen dieser Einwirkungen mit internen Ereignissen sind dann zu unterstellen, wenn die zu kombinierenden Ereignisse in einem kausalen Zusammenhang stehen können oder wenn ihr gleichzeitiges

Eintreten auf Grund von Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen oder nach dem Stand von Wissenschaft und Technik unterstellt werden muss.

- Die erkennbaren zukünftigen Entwicklungen der Eigenschaften des Standortes in Hinblick auf die zu betrachtenden Einwirkungen von Außen.
- Brände und Explosionen in der Anlage sind zu verhüten. Die sicherheitstechnisch wichtigen Maßnahmen und Einrichtungen müssen so beschaffen und angeordnet sein, dass die Erfüllung ihrer Aufgaben durch Brände und Explosionen nicht unzulässig beeinträchtigt wird.
- Maßnahmen, die zur Verhinderung unzulässiger Folgen einer anlageninternen Überflutung von sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen erforderlich sind.
- Die zueinander redundanten Teilsysteme von Sicherheitseinrichtungen sind räumlich getrennt aufzustellen oder aber sie sind geeignet zu schützen, um bei Einwirkungen von Außen bzw. von Innen (wie Brand oder Überflutung) einen redundanz-übergreifenden Funktionsausfall zu verhindern.

2.1.2.2 Grundlagen für die Sicherheit von Endlagern

In 1983 wurden „Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk“ /BMI 1983/ formuliert. In 2002 sind von der GRS drei Berichte /GRS 2002a/, /GRS 2002b/ und /GRS 2002c/ zum Thema „Weiterentwicklung der Sicherheitskriterien“ vorgelegt worden. Daraufhin wurden im Auftrag vom BMU, die RSK und SSK zu einer Stellungnahme /RSK/SSK 2002/ gebeten.

Sowohl aus den drei vorgenannten Berichten als auch aus der Stellungnahme von RSK/SSK und den in 1983 ursprünglich verfassten Sicherheitskriterien lässt sich für die Betriebsphase eines Endlagers – unabhängig vom Endlagerkonzept bzw. vom Wirtsgestein - hinsichtlich der Störfallvorsorge das radiologische Schutzziel „Sicherer Einschluss radioaktiver Stoffe“ unter Einwirkungen von Außen und Einwirkungen von Innen ableiten.

Dabei muss bei der Planung baulicher und sonstiger technischer Schutzmaßnahmen gegen Störfälle berücksichtigt werden, dass im ungünstigsten Störfall durch Freisetzung radioaktiver Stoffe in der Umgebung der Anlage höchstens eine effektive Dosis von 50 mSv bzw. eine Organdosis der Schilddrüse und der Augenlinse von jeweils 150 mS (Anforderungen des § 49 StrlSchV) zugrunde gelegt werden darf. Maßgebend für eine ausreichende Vorsorge gegen Störfälle ist dabei der Stand von Wissenschaft und Technik.

Obwohl die geltenden Sicherheitskriterien /BMI 1983/ nicht mehr dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechen lässt sich für die Störfallvorsorge während der Betriebsphase die dort unter Pkt. 5.2 formulierte Forderung nach der Durchführung von Sicherheitsanalysen aufrecht erhalten. Die Art der Sicherheitsanalysen (deterministisch oder probabilistisch) wurde nicht spezifiziert.

2.2 Erforderliche Nachweise für die Sicherheit von Kernkraftwerken (Sicherheits-ebene)

Im Bericht der Bundesregierung für die „Dritte Überprüfungstagung“ im April 2005 /Bundestag 2004/ zum Übereinkommen über nukleare Sicherheit /IAEA 1994/ wird dargelegt, dass die Kernkraftwerke auf der dritten Sicherheitsebene gegen postulierte Störfälle – die Auslegungsstörfälle – ausgelegt sind. Im Genehmigungsverfahren ist nachzuweisen, dass diese Störfälle durch Sicherheitseinrichtungen so beherrscht werden, dass auch für radiologisch relevante Fälle die Strahlenexposition der am stärksten betroffenen Person aus der Bevölkerung unterhalb der Störfallplanungswerten (§ 49 StrlSchV) bleibt.

2.2.1 Sicherheitsanalyse (deterministisch)

Der Nachweis der Störfallbeherrschung wird mittels einer Sicherheitsanalyse geführt. Die deterministische Sicherheitsanalyse besteht aus System- und Störfallanalyse.

Die Systemanalyse dient dem Nachweis, dass Systeme zur Betriebsführung und -überwachung vorhanden sind, durch deren Auslegung Störfälle als Folge anomaler Betriebszustände mit hoher Zuverlässigkeit vermieden werden und darüber hinaus ausreichend zuverlässige technische Sicherheitseinrichtungen zur Beherrschung von Störfällen installiert sind. Eine weitere wichtige Aufgabe der Systemanalyse ist der Nachweis, dass die geltenden Auslegungsgrundsätze erfüllt sind.

Die Störfallanalyse untersucht das Verhalten des Kernkraftwerks bei den nach dem Regelwerk zu unterstellenden Betriebstransienten und Störfällen. Zentraler Punkt der Analyse ist der Nachweis der Wirksamkeit der Sicherheitseinrichtungen. Die eingesetzten Rechenmodelle berücksichtigen alle bedeutsamen physikalischen Effekte und sind weitest möglich experimentell verifiziert. Die Konservativität der Analyseergebnisse wird durch ungünstige Rechenannahmen und Randbedingungen sichergestellt.

Die die Auslegung der Sicherheitseinrichtungen bestimmenden Störfälle (Auslegungsstörfälle) werden so definiert, dass sie repräsentativ für alle zu unterstellenden Ereignisse sind. Dabei kann der Nachweis einer ausreichenden anlagentechnischen Schadensvorsorge auch dadurch geführt werden, dass vorgelagerte technische Kriterien erfüllt werden, bei denen eine Gefährdung der Integrität von Barrieren zum Einschluss radioaktiver Stoffe ausgeschlossen ist.

2.2.2 Probabilistische Sicherheitsanalysen (PSA)

In letzter Zeit haben probabilistische Sicherheitsuntersuchungen die deterministische Untersuchungen ergänzt, z. B. Zuverlässigkeitsanalysen für das Reaktorschutzsystem und die Kernnotkühlsysteme. Oder auch Best-estimate-Analysen (realistische Analysen unter Einschluss von Unsicherheitsanalysen) von Kühlmittelverluststörfällen.

Bei der nach § 19a AtG vorzunehmenden periodischen Sicherheitsüberprüfungen (PSÜ) für Kernkraftwerke ist ein Leitfaden „Probabilistische Sicherheitsanalyse“ zur Durchführung dieser Sicherheitsüberprüfungen bekannt gemacht worden /BMU 2005/, /Leitfaden 2005/. Danach gehören probabilistische Sicherheitsanalysen (PSA) zum Stand von Wissenschaft und Technik bei der Sicherheitsbeurteilung von Kernkraftwerken und werden in Ergänzung zu den auf deterministischen Grundlagen beruhenden Sicherheitsbeurteilung eingesetzt. Auf diese Weise kann der Einfluss von Komponenten, Systemen und Strukturen sowie von Personalhandlungen auf das sicherheitstechnische Anlagenverhalten ganzheitlich dargestellt und somit das Sicherheitsniveau quantitativ bewertet werden.

Im Leitfaden /Leitfaden 2005/ werden 3 (kernkraftwerksspezifische) Stufen von probabilistischen Sicherheitsanalysen definiert. Die (probabilistischen) Methoden die demnach bei der Durchführung der Sicherheitsanalysen in Betracht kommen sind:

- Fehlerbaumanalysen,
- Ereignisablaufanalysen,
- Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen.

2.2.2.1 Fehlerbaumanalysen

Die Fehlerbaumanalyse /DIN 1981/ dient zur Abbildung des Systems und zur Quantifizierung der Systemzuverlässigkeit.

Ein Ereignis das nicht sein soll (unerwünschtes Ereignis) wird vorgegeben. In Form einer Baumstruktur (graphische Darstellung logischer Zusammenhänge) wird das System abgebildet und angegeben welche untergeordneten Ereignisse auftreten müssen damit das jeweilige übergeordnete Ereignis eintritt (deduktive Analyse).

Systemanalyse

Basis ist eine Systemanalyse. Gemäß /DIN 1981/ ist eine Systemanalyse in mehreren Schritten durchzuführen:

Zunächst werden die Systemfunktionen untersucht. Dazu wird das zu untersuchende System als „Schwarzer Kasten“ betrachtet, der über Ein- und Ausgaben verfügt. Dieser „Kasten“ hat eine oder mehrere Aufgaben zu erfüllen.

Des Weiteren hat das System seine Funktionen unter nicht beeinflussbaren Umgebungsbedingungen zu erfüllen. Diese sind zu untersuchen.

Weiterhin müssen die Hilfsquellen (Energie-, Medienversorgung und Personalhandlungen) auf ihren Einfluss auf das System untersucht werden.

Als nächster Schritt ist der Aufbau des technischen Systems unter Identifizierung der Komponenten zu untersuchen.

Am Schluss der Systemanalyse wird das zu untersuchende System unter Berücksichtigung der o. g. genannten Punkte (Zusammenwirkung der Komponenten, Reaktion auf die Umgebungsbedingungen, Reaktion auf Ausfälle innerhalb des Systems und auf Ausfälle von Hilfsquellen) untersucht.

Berücksichtigung von Personalhandlungen

Gemäß /BfS 2005/ sind folgende Handlungskategorien zu unterscheiden:

- Personalhandlungen vor Eintritt eines auslösenden Ereignisses während des bestimmungsgemäßen Betriebs der Anlage,
- Personalhandlungen, die ein auslösendes Ereignis zur Folge haben; insbesondere jene, die zusätzlich den Ausfall sicherheitsrelevanter Systeme verursachen und
- Personalhandlungen nach Eintritt eines auslösenden Ereignisses.

Zur Quantifizierung von Personalhandlungen sind Methoden entwickelt worden. Sie werden in /BfS 2005/ angeführt.

Unerwünschtes Ereignis und Ausfallkriterien

Das unerwünschte Ereignis wird festgelegt (z. B. Überschreiten der Grenzwerte des § 49 StrlSchV). Ebenfalls sind die Ausfallkriterien (z. B. vollständiger oder teilweiser Ausfall von Komponenten) festzulegen.

Relevante Zuverlässigkeitskenngröße und Zeitintervall

Die Ausfallhäufigkeit und/oder die Nichtverfügbarkeit eines Systems muss während eines vorgegebenen Zeitraums festgelegt werden.

2.2.2.2 Ereignisablaufanalysen

Die Ereignisablaufanalyse /DIN 1985/ geht von einem Ereignis aus, welches das System beeinflussen kann und untersucht die möglichen Folgen (induktive Analyse). Dabei sind auch Personalhandlungen zu berücksichtigen.

Die Analysen werden in Form von Ereignisablaufdiagrammen dargestellt, wesentliche Ergebnisse sind die Endzustände und deren Häufigkeiten /Leitfaden 2005/.

Das Anfangsereignis (z. B. Komponentenausfall, Fehlbedienung) mit seiner Wirkung auf das technische System wird dargestellt. Eventuell eintretende Folgeereignisse müssen berücksichtigt werden. Die Reaktion des Systems auf die Wirkung wird ebenfalls dargestellt. Die Darstellung erfolgt graphisch im Form eines Ereignisablaufdiagramms.

Das Ergebnis der Auswertung eines Ereignisablaufdiagramms ist eine Häufigkeits- oder Wahrscheinlichkeitsaussage über ein als Folge eines Anfangsereignisses eintretendes Ereignis.

2.2.2.3 Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen

Die Häufigkeiten auslösender Ereignisse und die Zuverlässigkeit für die Systemkomponenten und die Personalhandlungen werden in der PSA durch Wahrscheinlichkeitsverteilungen beschrieben, aus denen sich der Erwartungswert berechnen lässt und die darüber hinaus Informationen über die Abweichungen dieser Größen vom Erwartungswert beinhalten, so dass die Unsicherheiten zu den Erwartungswerten von Gefährdungszuständen quantifiziert werden können (Unsicherheitsanalyse) /Leitfaden 2005/.

Mit der Sensitivitätsanalyse ist zu ermitteln, welche der in der Unsicherheitsanalyse berücksichtigten unsicheren Eingabedaten in besonders hohem Maße zur Ergebnisunsicherheit beitragen /Leitfaden 2005/.

2.3 Erforderliche Nachweise für die Sicherheit von Endlagern (Störfälle)

Die erforderlichen Nachweise haben sich auf einen konkreten Standort und die Auslegung des Endlagerbergwerkes zu beziehen. Im folgenden wird deshalb ein allgemeiner Überblick über die Methodik, die Einwirkungen und potentiellen Störfällen gegeben.

2.3.1 Deterministische Sicherheitsanalyse (Betriebsphase)

Bei der sicherheitstechnischen Auslegung von Kernkraftwerken sind Auslegungsstörfälle bestimmt worden. Bei der Bestimmung der Auslegungsstörfälle (Sicherheitsebene 3) wurden nicht alle theoretisch denkbaren Störfälle in Betracht gezogen. Vielmehr berücksichtigt man nur solche Störungsursachen und die daraus resultierenden Ereignisabläufe die aufgrund von Wahrscheinlichkeitsüberlegungen über deren Eintritt und Ablauf als nicht zu weit entfernte Schadensmöglichkeiten erscheinen.

Folgende Ereignisse sind aufgrund ihres geringen Risikos keine Auslegungsstörfälle (Sicherheitsebene 4):

- Ereignisse in Folge eines Flugzeugabsturzes,
- Ereignisse in Folge äußerer Einwirkungen gefährlicher Stoffe und
- Ereignisse in Folge äußerer Druckwellen aus chemischen Reaktionen.

Maßnahmen gegen diese Ereignisse dienen der Risikominimierung.

Es erscheint sinnvoll, diese für Kernkraftwerke entwickelten Grundlagen unter Berücksichtigung der Sicherheitskriterien Endlager für den erforderlichen Nachweis über die getroffene Schadensvorsorge bei Errichtung und Betrieb eines Endlagerbergwerkes zu übernehmen.

Auslegungsstörfälle können in radiologisch relevante und sonstige auslegungsbestimmende Störfälle eingeteilt werden. Beide Störfallkategorien sind Störfälle im Sinne des § 49 StrlSchV.

Die radiologisch relevanten Störfälle sind relevant bezüglich ihrer radiologischen Auswirkungen auf die Umgebung und in dem Sinne repräsentativ, dass sie in ihren radiologischen Auswirkungen eine Klasse ähnlich ablaufender Ereignisse abdecken. Maßnahmen gegen diese Ereignisse dienen der Schadensvorsorge.

Die sonstigen auslegungsbestimmenden Störfälle sind solche Störfälle gegen die anlagentechnisch Schadensvorsorge getroffen werden muss, die aber dann aufgrund der getroffenen Vorsorge in ihren radiologischen Auswirkungen auf die Umgebung nicht mehr von Bedeutung sind.

Das methodische Vorgehen bei der deterministischen Sicherheitsanalyse besteht demnach aus folgenden Schritten:

- Erbringung eines Vollständigkeitsnachweises,
- Bestimmung der auslegungsbestimmenden Störfälle und
- Nachweis der erforderlichen Schadensvorsorge.

2.3.1.1 Deterministische Systemanalyse

Vollständigkeitsnachweis

Der Vollständigkeitsnachweis dient zur vollständigen Erfassung aller möglichen Störfälle. Er besteht im wesentlichen aus der (Kurz-)Beschreibung des Einlagerungsablaufes unter Angabe des Einlagerungsgutes, der Zusammenstellung der Aktivitätsinventare, der Angabe der Möglichkeiten zur Freisetzung radioaktiver Stoffe unter Berücksichtigung der vorhandenen Barrieren, der Festlegung der radiologischen Grundlagen und der Durchführung der Voranalyse.

Beschreibung des Einlagerungsablaufes

Im Endlagerbergwerk für HAW und ausgediente Brennelemente werden eingelagert (siehe AP1.2, Aufgabe 1)

- Endlagerbehälter POLLUX (beladen mit ausgedienten LWR-Brennelementen),
- CASTOR Behälter der Typen AVR/TMTR (HTR-Brennelemente), MTR2 mit BE (aus Forschungsreaktoren), KNK,

- HAW-Kokillen (verglaster HAW),
- CSD-B-Kokillen,
- CSD-C-Kokillen und
- Brennstabkokille (BSK 3).

Z. Z. sind zwei Einlagerungsvarianten für die Planung des standortunabhängigen Endlagerbergwerkes zugrunde gelegt:

- Variante 1: Strecken (POLLUX-Behälter) - und Bohrlochlagerung (HAW-Kokillen, CSD-B- und CSD-C-Kokillen) und
- Variante 2: Reine Bohrlochlagerung (HAW-Kokillen, CSD-B-, CSD-C-Kokillen und BSK 3).

Die Kokillen werden im Transportbehälter CASTOR angeliefert. Sowohl CASTOR- und POLLUX-Behälter werden entweder über die Straße oder über die Schiene auf einem Anlieferungsfahrzeug der übertägigen Umladeanlage des Endlagerbergwerkes zugeführt. Dort werden die CASTOR- und POLLUX-Behälter umgeschlagen.

Ein Plateauwagen wird mittels eines Brückenkrans mit dem POLLUX-Behälter waage-recht beladen. Der beladene Plateauwagen wird mit Hilfe einer Flurförderanlage zu der Schachtförderanlage gefahren. Durch eine Schachtbeschickungsanlage wird der beladene Plateauwagen auf das Fördergestell gebracht und anschließend mit der Hauptseilfahrtanlage nach unter Tage befördert.

Der CASTOR-Behälter wird mittels des gleichen Brückenkrans in einem Andockfahrzeug lotrecht eingehängt. Dieses Andockfahrzeug verfährt den CASTOR-Behälter zum Andocken an eine Heiße Zelle. Nach dem Andocken (unten an der Heißen Zelle) wird mit Hilfe eines Brückenkrans und eines Handhabungsroboters der Primärdeckel des CASTOR-Behälters abgenommen. In einem parallelen Arbeitsgang dockt ein Transferbehälter zur Aufnahme einer Kokille mit eigenem Andockfahrzeug ebenfalls unterwärts an die Heiße Zelle an. Sind beide Behälter geöffnet, lädt ein Zellenkran eine Kokille vom CASTOR-Behälter in den Transferbehälter ein. Nach dem Schließen des beladenen Transferbehälters wird dieser mit Hilfe seines Andockfahrzeuges von der Heißen Zelle abgezogen und dem Umladebereich zugeführt. Dort setzt der Brückenkran den Transferbehälter senkrecht (nur für HAW- und CSD-C-Kokillen) auf einen Plateauwagen (nicht identisch mit dem Plateauwagen für POLLUX-Behälter) um. Der Transferbehälter für BSK 3 wird waagerecht auf den Plateauwagen umgeladen.

Der beladene Plateauwagen wird mittels der Flurförderanlage zu der Schachtförderanlage gefahren. Durch eine Schachtbeschickungsanlage wird der beladene Plateauwagen auf das Fördergestell gebracht und anschließend mit der Hauptseilfahrtanlage nach unter Tage befördert.

Am Füllort (unter Tage) wird der beladene Plateauwagen mit Hilfe der dort befindlichen Schachtbeschickungsanlage an einer Übergabestelle zu einem Anschlussgleis bereit-

gestellt. Von dort aus werden die Plateauwagen mit batteriegetriebenen Lokomotiven zu ihrem Einlagerungsfeld gebracht.

Bei der Variante 1 werden die POLLUX-Behälter in Strecken eingelagert und die Kokillen in Bohrlöchern von 300 m Tiefe. Bei der Variante 2 werden keine POLLUX-Behälter eingelagert. Die Tiefe der Bohrlöcher für BSK 3 beträgt 300 m und für HAW-, CSD-B- und CSD-C-Kokillen ebenfalls 300 m.

Bei der Variante 1 wird ein mit dem POLLUX-Behälter beladener Plateauwagen zu der vorgesehenen Ablagestelle transportiert. Dort ist die portalmäßig aufgebaute Einlagerungsvorrichtung positioniert. Der Plateauwagen fährt in das Portal der Einlagerungsvorrichtung. Der POLLUX-Behälter wird aufgenommen, der Plateauwagen aus dem Bereich der Einlagerungsvorrichtung gezogen und der Behälter auf die Streckensohle abgesenkt. Alle Arbeitsbewegungen der Einlagerungsvorrichtung werden von der Batterie-Lokomotive aus über Funk gesteuert. Der Umsetzvorgang der Einlagerungsvorrichtung zu einer anderen Einlagerungsstrecke erfolgt mit Plateauwagen und Lokomotive.

Sowohl bei Variante 1 als auch bei Variante 2 erfolgt die Einlagerung von HAW-, CSD-B- und CSD-C-Kokillen gleich. Die Kokillen werden mit dem beladenen Plateauwagen an der vorgesehenen Ent-/Beladestelle einer portalmäßig aufgebauten Einlagerungsvorrichtung befördert. Mit einem auf einem Portal angeordnetem Hebezeug wird der Transferbehälter vom Plateauwagen übernommen und in die Aufnahme des Bohrlochschiebers gestellt. Ein weiteres Hebezeug setzt die Abschirmhaube auf den Transferbehälter. Der Transferbehälter wird kopfseitig geöffnet und der Kokillengreifer des Hebezeuges schlägt die Kokille an. Bohrloch wie auch der Transferbehälter werden geöffnet und die Kokille in das Bohrloch eingelagert. Nach dem Hochfahren des Kokillengreifers werden Bohrloch und Transferbehälter geschlossen, die Abschirmhaube entfernt und der Transferbehälter vom erstgenannten Hebezeug aufgenommen.

Bei der Einlagerung von BSK 3 (nur Variante 2) werden die mit dem Transferbehälter beladenen Plateauwagen an der vorgesehenen Ent-/Beladestelle einer nicht verfahrbaren Einlagerungsvorrichtung befördert. (Ortswechsel zwischen den Bohrlöchern oder Einlagerungsstrecke erfolgen mit Plateauwagen und Batterie-Lokomotive.) In der Einlagerungsvorrichtung wird der Transferbehälter aufgerichtet und in eine Bohrlochschleuse eingestellt. Die Abschirmhaube wird auf den Transferbehälter gesetzt. Der Transferbehälter wird kopfseitig geöffnet und der Kokillengreifer des Hebezeuges schlägt die Kokille an. Bohrloch wie auch der Transferbehälter werden geöffnet und die Kokille in das Bohrloch eingelagert. Nach dem Hochfahren des Kokillengreifers werden Bohrloch und Transferbehälter geschlossen, die Abschirmhaube entfernt und der Transferbehälter in die waagerechte Lage geschwenkt.

Einlagerungsgut

Maße und Gewichte der einzulagernden Gebinde sind in AP1, Aufgabe 1, Tabelle 2-1 beschrieben.

Als Basis für den Vollständigkeitsnachweis dienen die nach Art (physikalisch-chemisch) und Menge aufgeschlüsselten Aktivitätsinventare des Einlagerungsgutes. Für jede Abfallgebindeart ist ein Referenz-Endlagergebinde zu bestimmen. Diese Referenz-Gebindearten sollen hinsichtlich der Freisetzung von radioaktiven Stoffen unter Störfallbedingungen alle anderen endzulagernden Gebinde abdecken.

Barrieren

Grundsätzlich kann die Freisetzung radioaktiven Materials in die Biosphäre erfolgen

- durch chemische und physikalische Mechanismen, die im Einlagerungsgut selbst stattfinden oder
- durch den vollständigen oder teilweisen Ausfall von Barrieren, die das radioaktive Inventar umschließen.

Für die Betriebsphase wird Ersteres ausgeschlossen.

Letzteres wird während der Betriebsphase durch die folgenden Barrieren ganz oder teilweise verhindert:

- Abfallmatrix (z. B. Glas) bzw. Brennstoffmatrix,
- Hüllrohre der Brennelemente,
- POLLUX- bzw. CASTOR-Behälter,
- Kokille,
- Transferbehälter,
- Bohrlochkopf,
- Abschirmglocken der Einlagerungsvorrichtungen,
- Sedimentation,
- Heiße Zelle mit Unterdruckhaltung.

Freisetzungsmöglichkeiten

Durch Einwirkungen von Innen und Außen können radioaktive Stoffe freigesetzt werden.

Einwirkungen von Innen

Die prinzipiell denkbaren Ereignismöglichkeiten werden diskutiert. Diejenigen Ereignisse werden identifiziert, die im Endlagerbergwerk tatsächlich möglich sind und eine erhöhte Freisetzung radioaktiven Materials in die Umgebung zur Folge haben können.

Folgende Einwirkungen von Innen sind zunächst zu betrachten:

- Kritikalität,
- Gebindeabsturz,

- mechanische Beschädigung durch Absturz schwerer Lasten bzw. durch Fahrzeugzusammenstoß,
- Seilrutsch,
- Förderkorbabsturz,
- Übertreiben des Förderkorbs / Seilrutsch,
- Gasleckage,
- Beeinträchtigung der Wärmeabfuhr,
- Ausfall von Systemen mit sicherheitstechnischer Bedeutung,
- Fehlbedienung (Personalhandlungen),
- Brand,
- Explosion,
- gebirgsmechanische Störfälle,
- Eintritt von Grubenwasser,
- Bildung von Gasen,
- Einwirkungen Dritter.

Als Ursachen solcher Ereignisse kommen u. a. in Frage:

- Fehlbedienung,
- Ausfall von Komponenten.

Kritikalität

Während der Betriebsphase ist durch die kritikalitätssichere Auslegung des POLLUX-Behälters und der BSK-Kokille ein Kritikalitätsstörfall ausgeschlossen. Lediglich durch Verlust der Brennstab-Integrität als Folge anderen Ereignisse kann ein Kritikalitätsstörfall a priori nicht ausgeschlossen werden.

Gebindeabsturz

Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass trotz qualitätssichernder Maßnahmen und entsprechender Auslegung der Hebezeuge (einschließlich Einlagerungsvorrichtungen) diese versagen und die Last abstürzt.

Mechanische Beschädigung durch Absturz schwerer Lasten bzw. durch Fahrzeugzusammenstoß

Der Absturz schwerer Lasten auf die Endlagergebäude ist vor allem bei deren Handhabung im Bereich des Förderschachtes und im Einlagerungsbohrloch zu betrachten. Fahrzeugzusammenstöße sind ebenfalls nicht auszuschließen

Förderkorbabsturz

Der Förderkorbabsturz wird aufgrund der Auslegung der Schachtförderanlage nicht zur Kategorie der auslegungsbestimmenden Störfälle gezählt. Er gehört zu den Ereignissen mit

geringer Eintrittswahrscheinlichkeit. Es sind abhängig von der resultierenden Strahlenexposition unter Umständen Vorkehrungen zur Risikominimierung zu treffen.

Übertreiben des Förderkorbs / Seilrutsch

Trotz Auslegung der Schachtförderanlage gemäß bergbehördlicher Vorschriften ist ein Übertreiben bzw. ein Seilrutsch nicht auszuschließen und muss weiter betrachtet werden. Dieses gilt auch für die Einlagerungsvorrichtungen.

Gasleckage

Eine Freisetzung von radioaktiven Gasen während der Betriebsphase ist als Folge von Korrosion nicht zu erwarten. Der mögliche Kontakt von Gebindewandungen mit Laugeneinschlüssen im Wirtsgestein (Salz) wurde bei der Auslegung der Endlagergebinde berücksichtigt.

Beeinträchtigung der Wärmeabfuhr

Dies ist für die wärmeentwickelnden Abfälle zu betrachten die sich außerhalb der POL-LUX- und CASTOR-Behälter befinden (Umladung). Die Einhaltung der maximalen Kontakttemperatur der Endlagergebinde mit dem Wirtsgestein (Salz) ist durch die Auslegung der Endlagergebinde gewährleistet. Wenn dies aber nur unter Einbeziehung der Einhaltung des Einlagerungskonzeptes (Anordnung von HAW-Kokillen, CSD-C-Kokillen und BSK 3) gewährleistet werden kann, ist hier eine nähere Betrachtung notwendig.

Ausfall von Systemen mit sicherheitstechnischer Bedeutung

Die im Endlager installierten Systeme mit potentieller sicherheitstechnischer Bedeutung sind insbesondere

- die Stromversorgung,
- die Lüftung zur Sicherstellung der Kühlung der wärmeentwickelnden Abfälle,
- die Unterdruckhaltung,
- die leittechnischen Einrichtungen und
- die Bremssysteme der Fahr- und Hebezeuge, insbesondere die der Schachtfördereinrichtung.

Fehlbedienung (Personalhandlungen)

Wenn Fehlbedienungen Störfallursachen sein können, dann ist deren Einfluss zu bewerten.

Brand und Explosion

Explosionen bzw. Brände innerhalb des Endlagerbergwerkes können entweder direkt oder als Folge von Fahrzeugzusammenstößen entstehen.

Gebirgsmechanische Störfälle

Das Auftreten ist standortabhängig. Bei diesen Störfällen handelt es sich um Schadensereignisse in Form eines Gebirgsschlages oder Firstenzusammenbruchs. Wesentlich für das mögliche Auftreten dieser Ereignisse sind die geologischen Verhältnisse sowie die Gestaltung des Grubengebäudes. Die Einordnung dieser Ereignisse als mögliche auslösende Ereignisse für einen auslegungsbestimmenden Störfall bzw. als Ereignisse mit geringer Eintrittswahrscheinlichkeit ist z. Z. nicht möglich, da standort-abhängig. Allerdings kann davon ausgegangen werden, dass die Erkundung des Endlagerbergwerkes und Errichtung des Grubengebäudes keinerlei Anhaltspunkte für derartige Ereignisse geliefert haben.

Eintritt von Grubenwässern

Das Auftreten ist standortabhängig. Auch hier kann analog zu den gebirgsmechanischen Störfällen verfahren werden.

Bildung von Gasen

Die Bildung von Gasen ist wirtsgesteins- bzw. versatzabhängig. Es ist während der Betriebsphase des Bergwerkes nicht davon auszugehen, dass sich über die theoretisch mögliche Bildung im bestimmungsgemäßen Betrieb störfallbedingt Mengen herausbilden würden. Diese wären aber nicht relevant, da nicht radioaktiv.

Einwirkungen Dritter

Dieses ist im Rahmen einer gesonderten Sicherheitsanalyse zu untersuchen und nicht Gegenstand dieser Betrachtung.

Einwirkungen von Außen

Folgende Einwirkungen von Außen sind zunächst zu betrachten:

- Flugzeugabsturz,
- Einwirkungen gefährlicher Stoffe,
- Druckwelle aus chemischen Reaktionen,
- Erdbeben,
- Blitzschlag, Hochwasser, Wind, Eis und Schnee sowie
- Äußerer Brand und sonstige standortbedingte Einwirkungen.

Flugzeugabsturz, Einwirkungen gefährlicher Stoffe und Druckwelle aus Chemischen Reaktionen

Diese Ereignisse gehören zu der Kategorie der Ereignisse mit geringer Eintrittswahrscheinlichkeit. Abhängig von der resultierenden Strahlenexposition sind unter Umständen Vorkehrungen zur Risikominimierung zu treffen.

Erdbeben

Neben dem Lastfall Erdbeben nach DIN 4149 wird der Lastfall Erdbeben nach KTA 2201 unterstellt (Anlagen über Tage). Dabei sind erdbebeninduzierte Ereignisse wie z. B. Leckage und Kritikalität zu berücksichtigen.

Blitzschlag, Hochwasser, Wind, Eis und Schnee

Diese Ereignisse sind standortbedingt und zu berücksichtigen. Aufgrund der getroffenen Auslegung ist eine Freisetzung radioaktiver Stoffe durch diese Einwirkungen nicht möglich.

Äußerer Brand und sonstige standortbedingte Einwirkungen

Diese Ereignisse sind standortbedingt und zu berücksichtigen. Aufgrund der getroffenen Auslegung ist eine Freisetzung radioaktiver Stoffe durch diese Einwirkungen nicht möglich.

Bestimmung auslegungsbestimmender Störfälle (Voranalyse)

Es wird geprüft, ob die als möglich betrachteten Ereignisse und Ereigniskombinationen unter den spezifischen Gegebenheiten des Endlagerbergwerkes auch tatsächlich zu nennenswerter Aktivitätsfreisetzung führen können. Es werden solche Teilsysteme der Anlage zur detaillierten Analyse ausgewählt, bei denen ein solches Ereignis voraus-sichtlich die gravierendsten Auswirkungen (Auslegungsstörfälle) haben würde. Durch diese Vorgehensweise wird diese Ereignismöglichkeit in anderen Teilsystemen bezüglich der radiologischen Auswirkungen abgedeckt.

Die Einwirkungen von Außen sind global wirkende Ereignisse und werden getrennt für die Anlagen über und unter Tage hinsichtlich deren resultierender Freisetzungsmöglichkeiten radioaktiver Stoffe untersucht.

Freisetzungspfade

Über folgende Pfade ist ein Transport radioaktiven Materials vom primären Einschluss des Inventars im Endlagerbergwerk bis in der Biosphäre prinzipiell möglich:

- Freisetzung über den Abwetterschacht,
- Freisetzung über den Fortluftkamin,
- Freisetzung im Wirtsgestein und
- Freisetzung direkt aus den übertägigen Gebäuden in die Atmosphäre.

Die Freisetzung ins Wirtsgestein wird für die Betriebsphase des Endlagerbergwerkes nicht betrachtet.

Freisetzungsbruchteile

Das Ausmaß der Umgebungsbelastung nach einem Störfall wird wesentlich bestimmt von

- den physikalischen Mechanismen, die zum Austrag von Aktivität aus radioaktiven Inventaren führen,
- der Rückhaltewirkung der Komponenten in Abgas- und Abluftsystemen und
- der Rückhaltewirkung aufgrund von Sedimentation im Grubengebäude.

Ermittlung der Dosisbelastung

Die potentielle Strahlenexposition in der Umgebung nach Störfällen während der Betriebsphase des Endlagers wird berechnet nach den Störfallberechnungsgrundlagen des BMI /BAnz 1990/.

Radiologisch relevante Störfälle

Die Voranalyse erlaubt die Auswahl der radiologisch relevanten Störfälle. Es werden die Störfälle als radiologisch relevant bestimmt, deren radiologische Auswirkungen auf die Umgebung für die jeweilige Einwirkung die anderen in ihrer Auswirkung abdecken.

Sonstige auslegungsbestimmende Störfälle

Die in der Voranalyse aufgeführten systembedingten technischen Schutzvorkehrungen bei den jeweiligen Einwirkungen ermöglichen, unter Berücksichtigung des Gefahrenpotentials der zu schützenden Anlagenteile, die Auswahl der sonstigen auslegungsbestimmenden Störfälle.

2.3.2 Deterministische Störfallanalyse (Nachweis Schadensvorsorge)

Der Nachweis der getroffenen Schadensvorsorge für die ausgewählten auslegungsbestimmenden Störfälle wird durch eine detaillierte Analyse dieser Störfälle erbracht.

Es kommt in Prinzip die gleiche Methodik wie bei der Voranalyse zur Anwendung. Im Einzelnen wird unter Angabe der vorbeugenden Schutzvorkehrungen das auslösende Ereignis, der Störfallablauf, die wirksam werdenden Barrieren und die abwehrenden Maßnahmen beschrieben. Anschließend wird die freigesetzte Aktivität unter Berücksichtigung des Inventaraustrags und dessen Rückhaltung in den Barrieren berechnet und die radiologischen Auswirkungen ermittelt.

Bei Ereignissen mit geringer Eintrittswahrscheinlichkeit wird der Nachweis der getroffenen Schadensvorsorge durch die Angabe der Maßnahmen zur Risikominimierung erbracht. Dazu ist es notwendig, für die nach der Voranalyse in Betracht zu ziehenden Ereignisse die daraus resultierende Strahlenexposition in der Umgebung zu bewerten.

2.3.3 Probabilistische Sicherheitsanalysen (Betriebsphase)

Die im Rahmen der „periodischen Sicherheitsüberprüfungen für Kernkraftwerken“ durchzuführenden „Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA)“ bezieht sich auf bestehende Kernkraftwerke. Neue Kernkraftwerke sind in Deutschland nicht geplant und folglich kann über das Erfordernis zur Erstellung probabilistischer Sicherheitsanalysen als Genehmigungsvoraussetzung für die Errichtung eines Kernkraftwerkes keine Aussage getroffen werden.

Über die Erfordernis zur Erstellung probabilistischer Sicherheitsanalysen als Genehmigungsvoraussetzung für Errichtung und zum Betrieb eines Endlagers ist ebenfalls nichts bekannt. Lediglich für den Langzeitsicherheitsnachweis wird in /GRS 2002a/ die Durchführung von probabilistischen Sicherheitsanalysen gefordert.

Im Folgenden werden – unbeschadet von jetzigen Genehmigungsvoraussetzungen – einige Empfehlungen zur sinnvollen Anwendung probabilistischer Sicherheitsanalysen zur Errichtung und zum Betrieb eines Endlagerbergwerkes zur Einlagerung von HAW und ausgediente Brennelemente vorgeschlagen.

Gemäß /Leitfaden 2005/ sollen die Ergebnisse der PSA

- die deterministische Beurteilung der Sicherheit ergänzen,
- zur Festlegung von Notwendigkeit und Dringlichkeit von Sicherheitsverbesserungen herangezogen werden,
- über ein Vergleich der Einzelhäufigkeiten nicht beherrschter Anlagenzustände Schwachstellen feststellen können sowie
- die sicherheitstechnische Ausgewogenheit des Anlagenkonzeptes ermöglichen.

Zur Durchführung der PSA sind die in /GRS 2002a/ für den Langzeitsicherheitsnachweis und die in /Leitfaden 2005/ vorgeschlagenen Methoden eine Richtschnur.

2.3.3.1 Schutzziel/Risikokriterium

Hinsichtlich der Störfallvorsorge ist auch hier das radiologische Schutzziel „Sicherer Einschluss radioaktiver Stoffe“ unter Einwirkungen von Außen und Einwirkungen von Innen maßgeblich. Wesentlich hierbei ist die Einhaltung der Störfallgrenzwerte des § 49 StrlSchV.

Dazu kann ein Risikokriterium formuliert werden. Allgemein wird in der Naturwissenschaft unter Risiko die Summe aller Szenarien multipliziert mit deren Konsequenzen und deren Eintrittswahrscheinlichkeit verstanden.

2.3.3.2 Szenarienauswahl

Da offensichtlich die Ermittlung aller denkbaren Szenarien nicht möglich ist (bei angemessenem Aufwand) sollen repräsentative Szenarien ermittelt werden. Daher sollte zur Bewertung des Risikos von der Menge „aller“ Szenarien zu einer Menge repräsentativer Szenarien übergegangen werden /GRS 2002a/. Zur Auswahl der repräsentativen Szenarien bedient man sich der Szenarienanalyse und der Konsequenzenanalyse.

2.3.3.3 Szenarienanalyse/ Konsequenzenanalyse

Für die Betriebsphase des Endlagers sind aufgrund der durchgeführten deterministischen Sicherheitsanalyse die repräsentativen Szenarien (Störfälle) mit deren Konsequenzen (Grenzwerte des § 49 StrlSchV) ermittelt worden. Zusätzlich können, wegen deren u. U. großen Konsequenzen, auch die Ereignisse mit kleiner Eintrittswahrscheinlichkeit (z. B. Förderkorbabsturz) als repräsentative Szenarien a priori nicht ausgeschlossen werden.

2.3.3.4 Eintrittswahrscheinlichkeit

Die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Szenarios wird definiert als die Wahrscheinlichkeit des Eintritts und Ablaufs dieses Szenarios. Für die Ermittlung des Risikos dieses Szenarios muss die Dauer der Betriebsphase berücksichtigt werden (Gesamteintrittswahrscheinlichkeit).

2.3.3.5 Berücksichtigung von Unsicherheiten

Neben der zu begründenden Auswahl der Szenarien müssen die verwendeten Modelle (mathematische Rechenverfahren) und die Ausfalldaten (unabhängige Komponentenausfälle) nachvollziehbar dokumentiert werden.

Da für ein Endlagerbergwerk für HAW und ausgediente Brennelemente keine anlagenspezifischen Ausfalldaten zur Verfügung stehen sind generische Daten zu verwenden. Bei deren Verwendung ist unter Berücksichtigung der anlagenspezifischen Gegebenheiten die Anwendbarkeit zu prüfen und zu dokumentieren. Wenn Komponenten, für die generische Daten verwendet wurden, wesentliche Beiträge zur Gesamthäufigkeit der Gefährdungszustände liefern, ist eine anlagenspezifische Auswertung der Übertragbarkeit der zugehörigen generischen Zuverlässigkeitskenngrößen durchzuführen und nachvollziehbar zu begründen /Leitfaden 2005/.

2.3.3.6 Methoden

Die Methoden zur Durchführung von probabilistischen Sicherheitsanalysen sind

- Fehlerbaumanalysen,
- Ereignisablaufanalysen,
- Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen.

Sie sind in Abschnitt 1.2.2 näher beschrieben.

2.4 Mögliche FuE-Arbeiten

Aus den vorhergehenden Ausführungen und unter Berücksichtigung des jetzigen Planungsstandes lassen sich für FuE-Arbeiten m. E. zwei Schwerpunkte ableiten:

- Sedimentation im Grubengebäude und
- Generierung von Ausfalldaten.

2.4.1 Sedimentation

Die Barrierewirkung der Sedimentation von luftgetragenen störfallerzeugten Aerosolpartikeln im Grubengebäude und in der Abwetterstrecke sollte ermittelt werden können. Dazu wäre es zunächst notwendig, die bei einem Absturz eines Abfallgebundes sich bildende Aerosolfraktion zu bestimmen. Weiterhin könnten sowohl rechnerisch als auch experimentell in Abhängigkeit der Wettergeschwindigkeit und Querschnitt/Länge von Strecken (Transportzeit) die Rückhaltefaktoren der einzelnen Partikelgrößen erforscht werden.

2.4.2 Generierung von Ausfalldaten

Da ein Endlagerbergwerk für HAW und ausgediente Brennelemente nicht existiert und – im Gegensatz zu Kernkraftwerken – folglich keine Betriebserfahrungen vorliegen können - müssen, wenn probabilistische Sicherheitsanalysen durchgeführt werden sollen - Ausfalldaten generiert werden. Siehe hierzu die Ausführungen in Kap. 2.3.3.5.

Zunächst können aus 1:1 Versuchen (Zyklen/Zeitdauer!) an Original-Maschinen Ausfalldaten generiert werden. Weiterhin kann auf bestehende Datenbanken unter Berücksichtigung der Randbedingungen (Übertragbarkeit) zurückgegriffen werden. Ebenfalls wäre eine Auswertung und Aufbereitung von Betriebserfahrungen von Bergwerksbetreibern mit bergbautechnischen Komponenten – soweit vorhanden und zugänglich - möglich.

3 Betriebliche Sicherheit

Sicherheitliche Belange in einem konventionellen Bergwerk werden durch zahlreiche untersetzende Durchführungsvorschriften zum Bundes-Berggesetz (BBergG) /BergG 2005/ geregelt, von denen beispielhaft genannt seien:

- Allgemeine Bundesbergverordnung (ABergV) /ABergV 2005/
- Allgemeine Bergverordnung über Untertagebetriebe, Tagebaue und Salinen (AB-VO) /ABVO 1995/
- Bergverordnung zum Schutz der Gesundheit gegen Klimaeinwirkungen (Klima-Bergverordnung – KlimaBergV) /KlimaBergV 1983/
- Bergverordnung für Schacht- und Schrägförderanlagen (BVOS) /BVOS 2005/
- Bergverordnung für elektrische Anlagen (Elektro-Bergverordnung – ElBergV) El-/BergV 2001/

Diese Durchführungsvorschriften finden ebenfalls Anwendung auf ein untertägiges Endlager.

Im Hinblick auf den kerntechnischen Teil eines Endlagers ist zusätzlich u. a. die

- Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlung (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) /StrlSchV 2005/

zu beachten.

Zielsetzung der Analyse der Betriebssicherheit ist die Identifizierung von potenziellem Untersuchungsbedarf hinsichtlich sicherheitlicher Belange sowohl im kerntechnischen als auch im konventionellen Teil des Endlagers unter Tage.

Störungen der Betriebssicherheit mit potenziellen radiologischen Auswirkungen werden in der im Rahmen der erforderlichen Vorsorge gegen Schäden gemäß § 7 Abs. 2 Nr. 3 AtG 2005 durchzuführenden Störfallanalyse behandelt. In der Störfallanalyse wird auf der Basis von abdeckenden Auslegungsstörfällen, bei denen es sich um Ereignisabläufe handelt, die gemäß § 3 der StrlSchV /StrlSchV 2005/ als Störfälle zu bezeichnen sind und die infolge mechanischer, thermischer oder einer Kombination von mechanischer und thermischer Belastung von Abfallgebinden zu einer Freisetzung von Radionukliden in die Umgebung des Endlagers über den Luftpfad führen können, nachgewiesen, dass

- die Störfallplanungswerte nach § 49 Abs. 1 StrlSchV /StrlSchV 2005/ entweder eingehalten werden, wobei eine störfallbedingte Freisetzung radioaktiver Stoffe gemäß dem Minimierungsgebot nach § 6 Abs. 2 StrlSchV /StrlSchV 2005/ auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich gehalten wird (Störfallklasse 1) oder
- eine ausreichende Vorsorge nach dem Stand von Wissenschaft und Technik gegen Störfälle getroffen ist, um eine störfallbedingte Freisetzung radioaktiver Stoffe gemäß dem Vermeidungsgebot nach § 6 Abs. 1 StrlSchV /StrlSchV 2005/ auszuschließen (Störfallklasse 2).

Eine Identifizierung von Ereignisabläufen, die gemäß § 3 StrISchV /StrISchV 2005/ als Störfälle zu bezeichnen sind und die Festlegung von abdeckenden Auslegungstörfällen, ist nicht Gegenstand der hier anzustellenden Betrachtungen. Hier soll im Hinblick auf den vorgesehenen Grubengebäudezuschnitt und unter Zugrundelegung der geplanten Betriebsabläufe untertage geprüft werden, ob durch Einflüsse oder Einwirkungen aus den Bereichen Bewetterung, Stromversorgung, Gebirge, Brand oder Schäden am Transportmittel für die Gebinde (Plateauwagen) Situationen hervorgerufen werden, die über Behinderungen oder Störungen der Betriebsabläufe hinaus zu einer Gefährdung der Betriebssicherheit führen und ggf. weiteren Untersuchungsbedarf erfordern und die nicht zwangsläufig mit radiologischen Auswirkungen verbunden sind.

3.1 Darstellung der Betriebsabläufe

Das Grubengebäude ist aufgeschlossen durch die Einlagerungs- und die darüber gelegene Erkundungssohle mit jeweils 2 etwa parallel verlaufenden Richtstrecken und dazwischen liegenden Querschlägen, von denen auf der Einlagerungssohle die Einlagerungsstrecken ausgehen. Die schematische Darstellung in Abbildung 3-1 zeigt den prinzipiellen Zuschnitt des Grubengebäudes anhand von jeweils zwei Einlagerungsfeldern für die Bohrlochlagerung von Kokillen und die Streckenlagerung von POLLUX-Behältern.

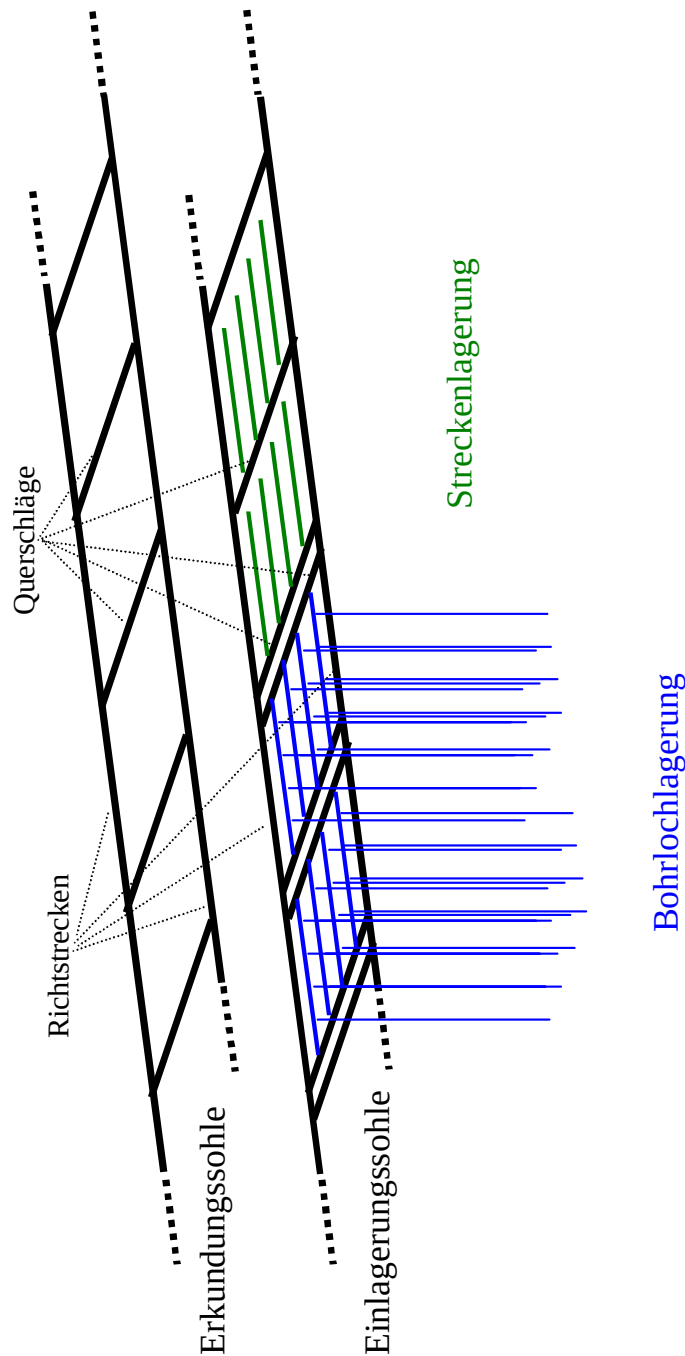


Abbildung 3-1: Schematische Darstellung des Grubengebäudezuschnitts

Zum Zeitpunkt des beginnenden Einlagerungsbetriebs sind Richtstrecken und Querschläge bereits aufgefahren. Auffahraktivitäten finden dann nur noch für die Einlagerungsstrecken statt.

Aus radiologischen Gründen ist das Grubengebäude aufgeteilt in einen Überwachungsbereich und einen Kontrollbereich.

Der Überwachungsbereich umfasst den einziehenden Schacht 1 sowie auf der Einlagerungssohle neben zentral gelegenen Infrastrukturräumen die nördliche Richtstrecke, Teile der Querschläge und in Auffahrung bzw. Vorbereitung befindliche Einlagerungsstrecken.

Der Kontrollbereich umfasst den ausziehenden Schacht 2 sowie auf der Einlagerungssohle neben zentral gelegenen Infrastrukturräumen die südliche Richtstrecke, die jeweils anderen Teile der Querschläge und die in Nutzung befindlichen sowie die bereits genutzten Einlagerungsstrecken.

Die Abwetter aus beiden Bereichen ziehen über Wetterrolllöcher zur zum Kontrollbereich zugehörigen Erkundungssohle und weiter zum Schacht 2. In Abbildung 3-2 ist die Aufteilung des Grubengebäudes in Überwachungs- und Kontrollbereich mit den entsprechend dem Einlagerungsfortschritt umzusetzenden temporären Absperrungen und beispielhafter Anordnung der für die Abwetterführung genutzten Wetterrolllöcher schematisch dargestellt.

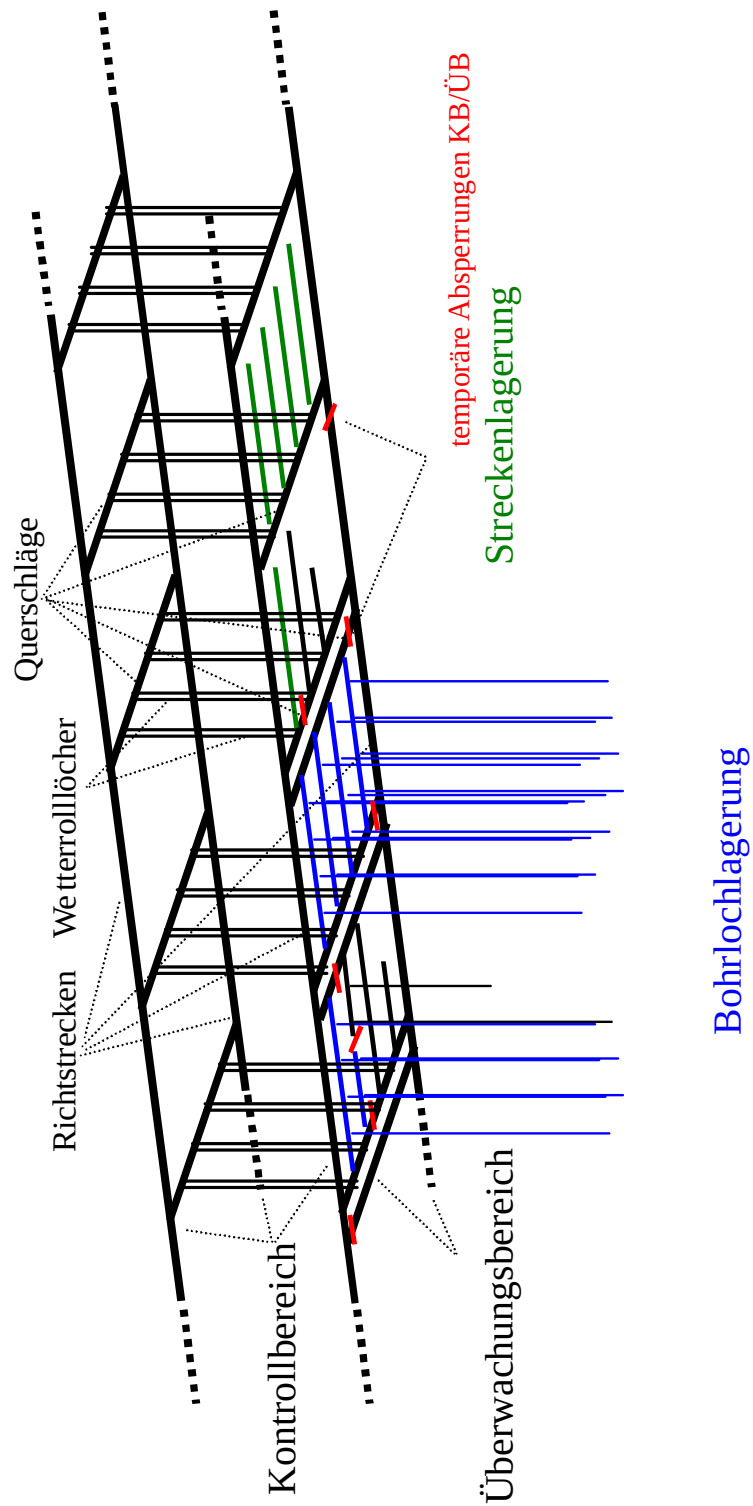


Abbildung 3-2: Schematische Darstellung des Grubengebäudes mit Aufteilung in Kontroll- und Überwachungsbereich

3.1.1 Betriebsabläufe auf der Einlagerungssohle

Auf der Einlagerungssohle finden die Betriebsabläufe des kerntechnischen und des bergbau-technischen Teiles entsprechend der Aufteilung in einen Überwachungs- und einen Kontrollbereich räumlich getrennt statt.

3.1.1.1 Betriebsabläufe auf der Einlagerungssohle im Überwachungsbereich

Im Überwachungsbereich erfolgen die Auffahrung und die Vorbereitung der Einlagerungsstrecken, die von den bereits vorhandenen Querschlügen ausgehen. Im Einzelnen sind dies folgende Arbeiten:

- Herstellung der Wetterrolllöcher von den Querschlügen der Einlagerungssohle zu den Querschlügen der Erkundungssohle
- Auffahrung der Einlagerungsstrecken für die Strecken- und/oder Bohrlochlagerung
- Herstellung der Bohrlochkeller (Bohrlochlagerung)
- Herstellung der Erkundungs- und Erweiterungsbohrungen (Bohrlochlagerung)
- Haufwerkstransporte, Zwischenförderung von der Einlagerungsstrecke bis zur Gurtförderanlage in der Richtstrecke mit z. B. Fahrlader und von dort weiter bis zu zentral gelegenem Salzbunker oder Schacht 1 zur Aufhaltung übertage
- Gleisbau in den für den Gebindetransport genutzten Querschlügen und Einlagerungsstrecken
- Längenanpassung (Sonderbewetterung, E-Versorgung, leit- und nachrichtentechnische Einrichtungen, Gurtförderanlage)
- Errichtung neuer temporärer Absperrungen KB/ÜB in den Querschlügen, in der Richtstrecke mit Gurtförderanlage und in den Einlagerungsstrecken für die Bohrlochlagerung zur Erweiterung des Kontrollbereichs (jeweils vor dem Rauben der vorher genutzten im Kontrollbereich)

3.1.1.2 Betriebsabläufe auf der Einlagerungssohle im Kontrollbereich

Im Kontrollbereich erfolgen der gleisgebundene Transport der über den Schacht 2 nach untertage gebrachten Gebinde in die Einlagerungsstrecken, die Einlagerung der Gebinde in Strecken und/oder Bohrlöchern sowie die Verfüll- und Verschleißmaßnahmen. Im Einzelnen sind dies folgende Arbeiten:

- Herrichten der Einlagerungsstrecken für die Einlagerung (Sonderbewetterung, E-Versorgung, bei Bohrlochlagerung zusätzlich: Installation Aufnahmerohr für Bohrlochschleuse und Einbau Bohrlochschleuse)
- Gleisgebundener Transport der Gebinde vom Schacht 2 zu den Einlagerungsstrecken mit Batterielokomotive

- Einlagerung der Gebinde bei der kombinierten Bohrloch- und Streckenlagerung in
 - Strecken (POLLUX-Behälter)
 - Bohrlöchern (HAW-, CSD-B- und CSD-C-Kokillen) oder bei reiner Bohrlochlagerung in
 - Bohrlöchern (HAW-, CSD-B- und CSD-C-Kokillen sowie BSK 3)
- Transport von Versatz vom zentral gelegenen Salzbunker mit gleisgebundenem Versatzfahrzeug und Einbringen des Versatzes in
 - Einlagerungsstrecken (Streckenlagerung und/oder Bohrlochlagerung)
 - Bohrlöcher (Bohrlochlagerung)
 - Querschläge
 - Richtstrecken
- Errichtung von Verschlüssen
- Längen Anpassung (Sonderbewetterung, E-Versorgung, leit- und nachrichtentechnische Einrichtungen)
- Rauben Gleise
- Rauben und Versetzen vorher genutzter temporärer Absperrungen KB/ÜB in den Querschlägen, in der Richtstrecke mit Gurtförderanlage und in den Einlagerungsstrecken für die Bohrlochlagerung zur Erweiterung des Kontrollbereichs (jeweils nach Errichtung der neuen im Überwachungsbereich)

Die detaillierten Betriebsabläufe für den Transport und die Einlagerung von POLLUX-Behältern in Strecken auf der einen Seite und für HAW-, CSD-B- und CSD-C-Kokillen sowie BSK 3 in Bohrlöchern auf der anderen befinden sich in den Anhängen 1 und 2.

3.1.2 Betriebsabläufe auf der Erkundungssohle (Kontrollbereich)

Zum Zeitpunkt der Einlagerung finden auf der Erkundungssohle nur noch begrenzte Aktivitäten statt. Dies sind:

- Erhaltungsmaßnahmen für das Streckennetz
- Rückbauartiges Versetzen der Richtstrecken und Querschläge
- Errichtung von Verschlüssen
- Längen Anpassung (Sonderbewetterung, E-Versorgung, leit- und nachrichtentechnische Einrichtungen)

3.2 Analyse der möglichen Einwirkungen auf die Betriebsabläufe und Ableitung ggf. erforderlichen Untersuchungsbedarfs

Zu den zu betrachtenden Ereignissen mit möglichen Einwirkungen auf die verschiedenen Arbeits- bzw. Betriebsabläufe, die die Betriebssicherheit gefährden könnten, gehören

- Ausfall der Bewetterung,
- Ausfall der Stromversorgung,
- Gebirgsmechanische Einwirkungen,
- Zutritt von Lösungen und natürlichen Gasen
- anlageninterner Brand und
- Entgleisung eines beladenen Plateauwagens.

3.2.1 Ausfall der Bewetterung

Die Bewetterung des Endlagerbergwerkes erfolgt saugend durch den Hauptgrubenlüfter am Schacht 2. Die Frischwetter ziehen über Schacht 1 in das Niveau der Einlagerungssohle und teilen sich dort auf die wettertechnisch parallel geschalteten Zweige Überwachungs- und Kontrollbereich auf. Die Abwetter aus diesen Bereichen werden über Wetterrolllöcher zur darüber liegenden Erkundungssohle geführt und gelangen dort gemeinsam zum Schacht 2. Die Erkundungssohle ist dem Kontrollbereich zugeordnet.

Die Einlagerungsstrecken zweigen von Querschlägen ab, die zwischen den beiden Richtstrecken angeordnet sind, und werden sonderbewettert. Im Falle der Streckenlagerung von POLLUX-Behältern wird mit der Einlagerung im Streckentiefsten begonnen und die Einlagerung rückbauartig bis zu den Querschlägen betrieben. Die Sonderbewetterung erfolgt saugend und wird durch Einkürzen der Lutten dem Einlagerungsfortschritt angepasst. Im Überwachungsbereich erfolgt die Bewetterung saugend oder blasend. Die Abwetter ziehen über die Wetterrolllöcher zur Erkundungssohle und weiter zum Schacht 2. Beim Wechsel zu einer neuen Einlagerungsstrecke wird die im Querschlag zur Trennung von Kontroll- und Überwachungsbereich vorhandene temporäre Absperrung entsprechend umgesetzt. Im Falle der Bohrlochlagerung von HAW-, CSD-B- und CSD-C-Kokillen sowie BSK 3 sind die Einlagerungsstrecken durchschlägig zwischen 2 Querschlägen angeordnet, wobei die Einlagerung bzw. der Wechsel von Bohrloch zu Bohrloch ausgehend vom jeweils schachtnahen Querschlag vorbauartig erfolgt. Die Einlagerungsstrecken sind durch eine entsprechend dem Einlagerungsfortschritt umzusetzende temporäre Absperrung in Kontrollbereich und Überwachungsbereich getrennt und werden daher ebenfalls sonderbewettert. Die Sonderbewetterung in dem Kontrollbereich zugeordneten Teil der Einlagerungsstrecke, d. h. dort, wo die Einlagerung stattfindet, erfolgt saugend, wobei die Längen Anpassung vorbauartig durchgeführt wird. In dem dem Überwachungsbereich zugeordneten Teil erfolgt die Sonderbewetterung saugend oder blasend. Die Längen Anpassung ist rückbauartig. Beim Wechsel in eine neue Einlagerungsstrecke erfolgt analog zur Streckenlagerung das Umsetzen der temporären Absperrungen in den Querschlägen.

Eine wesentliche Anforderung an die Wetterführung besteht darin, dass der durchgehende Hauptwetterzug auch bei Lüfterausfall erhalten bleibt und keine Wetterumkehr stattfindet, so dass potenziell kontaminierte Wetter aus dem Kontrollbereich nicht in den Überwachungsbereich gelangen können.

Dies wird u. a. sichergestellt durch:

- Hauptgrubenlüfter (mit Reserveaktivteil) und ggf. Zusatzlüfter
- natürlichen Wetterzug
- aufwärtsgeführte Wetterführung
- Wetterlenk- und -leiteinrichtungen

Insofern ist ein Wetterstillstand im durchgehend bewetterten Bereich durch Ausfall des Hauptgrubenlüfters oder eines Zusatzlüfters auszuschließen.

Auch bei den sonderbewetterten Strecken im Kontrollbereich (Einlagerungsstrecken) und Überwachungsbereich (Vortrieb) ist bei Ausfall eines Lüfters einer Sonderbewetterungsanlage sicherzustellen, dass der durch Unterdruck des Hauptgrubenlüfters erzeugte Wetterzug von der Einlagerungssohle zur Erkundungssohle erhalten bleibt und damit ein Übertreten von potenziell kontaminierten Wetter aus dem Kontrollbereich in den Überwachungsbereich nicht zu besorgen ist. Grundsätzlich kann dies in Abhängigkeit von den auch vor dem Hintergrund der unterschiedlichen Wettervolumenströme für Einlagerung, Versetzen und Auffahrung und Befahrung noch im Detail festzulegenden Konzepten für die Sonderbewetterung (Einbindung der Wetterrolllöcher in die Sonderbewetterung mit angeschlossener Sonderbewetterungsanlage oder Nutzung der Wetterrolllöcher als durchgehende Wetterverbindung mit davon unabhängiger Sonderbewetterung) durch verschiedene Maßnahmen (z. B. Absperrklappen an Lüftern, Wetterdrosseln o. ä.) erreicht werden.

In sonderbewetterten Strecken führt ein Lüfterausfall jedoch zum Wetterstillstand. Nach § 113a (2) ABVO /ABergV 2005/ sind bei störungsbedingtem Ausfall der Sonderbewetterung die davon betroffenen Betriebspunkte unverzüglich zu verlassen. Neben der Versorgung der Betriebspunkte mit ausreichenden Frischwettern und Verdünnung schädlicher Gase auf ein ungefährliches Maß hat die Bewetterung auch die Aufgabe, entsprechend KlimaBergV 1983 /KlimaBergV/ günstige grubenklimatische Bedingungen für die Belegschaft zu schaffen, d. h. vor allem die vom Gebirge und von Maschinen an die Wetter abgegebene Wärme abzuführen. Während maschinelle Betriebsmittel im Falle eines Lüfterausfalls abgeschaltet werden (z. B. eine Teilschnittmaschine im Streckenvortrieb), wodurch die Wärmeabgabe unterbunden wird, ist dies bei Gebinden mit wärmeentwickelnden Abfällen (POLLUX und BSK 3) nicht möglich. Die infolge der zum Erliegen gekommenen Wetterbewegung reduzierte Wärmeabfuhr würde zu einer Aufheizung der Gebinde bzw. zur Erhöhung ihrer Oberflächentemperatur und zum Anstieg der Wettertemperatur vor Ort führen.

Nach den Vorschriften für Typ B(U)-Versandstücke darf die höchste Temperatur jeder während der Beförderung leicht zugänglichen Oberfläche eines Versandstückes unter Umgebungsbedingungen (38°C) einen Wert von 85°C nicht übersteigen. Das Versandstück ist unter ausschließlicher Verwendung zu befördern, wenn die Temperatur 50°C überschreitet /ADR 2005/.

Die Oberflächentemperaturen, die beim Kontakt der Haut mit der heißen Oberfläche zu Verbrennungen führen, sind abhängig von dem Material der Oberfläche und von der Dauer des Kontaktes. In der DIN EN 563 /DIN EN 563/ sind u. a. Temperaturwerte für das Errei-

chen der Verbrennungsschwelle bei lackbeschichteten Metalloberflächen aufgeführt, die in Abhängigkeit von der Schichtdicke des Lacks beispielsweise bei einer Kontaktdauer von 1 s bei Temperaturen zwischen ca. 75 und 95°C und bei einer Kontaktdauer von 10 s bei Temperaturen zwischen ca. 55 und 60°C liegen.

Beim innerbetrieblichen Transport unter Tage kommt der Oberflächentemperatur von Behältern mit wärmeentwickelnden Abfällen im Hinblick auf ein unabsichtliches Berühren die gleiche Bedeutung zu, zusätzlich aber auch in klimatischer und in technischer Hinsicht. Ein Aufenthalt der Belegschaft in unmittelbarer Nähe ist zwar nicht geplant, kann jedoch zur Behebung einer Störung (z. B. Aufgleisen eines entgleisten beladenen Plateauwagens oder bei Reparaturarbeiten an der Einlagerungsvorrichtung mit aufgenommenem Behälter) erforderlich werden.

Die Oberflächentemperatur wird basierend auf dem wärmeentwickelnden Inventar neben geometrischen und materialspezifischen Parametern des Behälters neben der Wärmeabgabe über Strahlung durch den Wärmeübergang an die Wetter bzw. durch den Wetterzug und der damit verbundenen Wärmeabfuhr bestimmt. Insofern kommt der Bewetterung unter Tage eine gewisse Kühlwirkung zu, die sich insbesondere vor dem Hintergrund der vergleichsweise hohen Temperaturen unter Tage als wichtig erweist.

Geht man von einer Einlagerungsstrecke aus, kann das Gebinde bei Ausfall der Sonderbewetterungsanlage, sofern es sich noch auf dem Plateauwagen befindet, von der Batterielok wieder zurück in durchgehend bewetterte Bereiche gezogen werden.

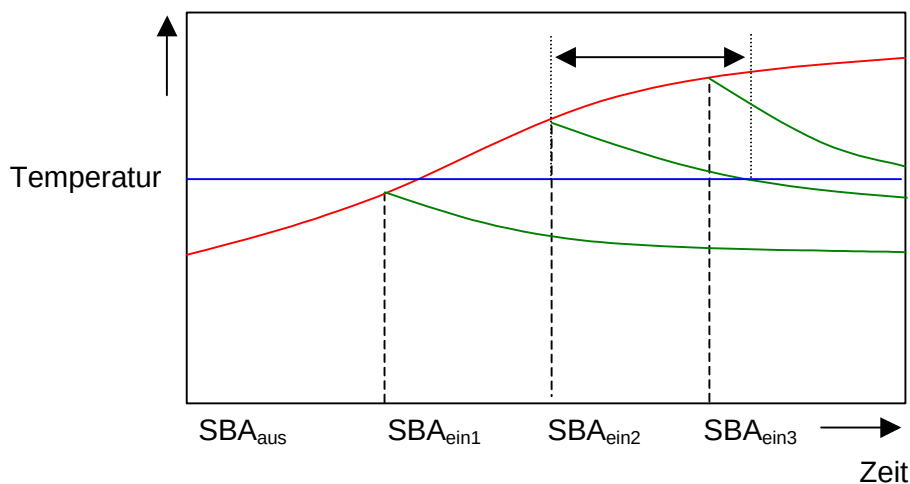


Abbildung 3-3: Entwicklung der Vororttemperatur nach Ausfall Sonderbewetterungsanlage (SBA) und verschiedenen Wiederinbetriebnahmezeitpunkten

Als Wärmeleistung des POLLUX-Behälters sind bei Einhaltung eines Temperaturgrenzwertes von 200°C an der Grenzfläche des Salzes zum Behälter ca. 9 kW anzusetzen /DBE 2005/.

3.2.2 Ausfall der Stromversorgung

Die untertägige Stromversorgung erfolgt redundant über in beiden Schächten verlegte Kabel und ein Ringleitungssystem, so dass bei Ausfall eines Schachtkabels, das andere für die Stromversorgung genutzt werden kann. Bei einem vollständigen Ausfall der Netzeinspeisung erfolgt die Versorgung wichtiger Verbraucher durch eine dieselbetriebene Ersatzstromversorgung. Sicherheitsrelevante Einrichtungen wie Prozessrechner und Zentralen der Brandmelde-, Objektschutz- und Telefonanlagen werden zusätzlich über eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) für den Zeitraum bis zum Hochlaufen der dieselbetriebene Ersatzstromaggregate versorgt.

Im Hinblick auf die geplanten Arbeits- und Betriebsabläufe führt ein Stromausfall zu keiner Gefährdung der Betriebssicherheit, sondern nur zur Unterbrechung der Arbeiten.

Im Überwachungsbereich kommen im Wesentlichen die Vortriebs- und Bohrarbeiten zum Erliegen. Im Kontrollbereich sind die Gebindetransporte nach unter Tage und die Einlagevorgänge davon betroffen. Insofern ergibt sich hinsichtlich der Betriebssicherheit kein Untersuchungsbedarf.

3.2.3 Gebirgsmechanische Einwirkungen

Bei der Herstellung von Grubenbauen wird der primär im Gebirge vorhandene Spannungszustand gestört. Die Umlagerung der Spannungen im Gebirge führen zur Verengung der Querschnitte, Rissbildung und damit verbunden zum Ablösen von Gesteinschalen.

Die Verengung der Querschnitte äußert sich in der

- Firstsenkung
- Stoßwanderung und
- Sohlenhebung

Die Aufrechterhaltung der Grubenbaue für Fahrung, Transport, Förderung und Wetterführung sowie die Sicherstellung der Arbeitssicherheit (Schutz von First- und/oder Stoßfall) erfolgt allgemein durch

- Nachschneiden (Teilschnittmaschine, Firstenfräse)
- Berauben von Firste und Stößen (Beraubestange, Firstenfräse, Schlagkopfmachine)
- Einbringen von Ankerausbau, ggf. mit Netzen
- Einbringen von Unterstützungsausbau

Die Einlagerung wärmeentwickelnder Abfälle findet im älteren Steinsalz (Staßfurt-Serie) statt. Aufgrund der im Vergleich zum jüngeren Steinsalz (Leine-Serie) höheren Konvergenzraten wird ein schnellerer Einschluss der Abfälle erreicht. Damit verbunden ergeben sich jedoch auch höhere Konvergenzraten in den Infrastruktur- und Einlagerungsstrecken.

Eine Auswertung von Konvergenzmesswerten von ausgewählten Lokationen im Erkundungsbergwerk Gorleben auf der 840 m-Sohle im älteren Steinsalz (Knäuelsalz) /PeM 2006/ zeigt, dass die Gesamtkonvergenz innerhalb von 100 Tagen (14,3 Wochen) zwischen 13 bis 20 cm und nach 200 Tagen (28,6 Wochen) zwischen 17 bis 26 cm beträgt. Davon entfallen 54 % auf die Sohlenhebung und 46 % auf Firstsenkung. Im Hinblick auf die tiefer liegende Einlagerungssohle und insbesondere in Verbindung mit dem konvergenzverstärkenden Wärmeeintrag durch die wärmeentwickelnden Abfälle sind höhere Konvergenzen zu erwarten.

3.2.3.1 Querschnittsverminderung

Aus wirtschaftlichen Gründen werden die Streckenquerschnitte allgemein auf das notwendige Maß beschränkt und das Gebirge in langlebigen Strecken ggf. durch das Setzen von Anker Ausbau stabilisiert, um die Konvergenzraten zu reduzieren und auf ein Nachschneiden verzichten zu können.

In den Richtstrecken und Querschlägen sind zum einen aufgrund der rückbauartigen Einlagerung und damit vorhandenen Entfernung von der konvergenzverstärkenden Wärmefront durch die Einlagerung wärmeentwickelnder Abfälle insgesamt geringere Konvergenzraten zu erwarten als in den Einlagerungsstrecken selbst und zum anderen ist auch ein Nachschneiden mit geringerem Aufwand sowie geringeren Auswirkungen auf den laufenden Einlagerungsbetrieb verbunden als in den Einlagerungsstrecken. Hier reicht die Streckenbreite aus, um ggf. eine Firstenfräse aufzustellen und in der einlagerungsfreien Zeit (z. B. während der Nachtschicht) Nachschneidearbeiten durchzuführen. Aufgrund des gleisgebundenen Transportes im Kontrollbereich ist ein nachträgliches Senken der Sohle ohne längere Unterbrechung des laufenden Einlagerungsbetriebes nicht zu realisieren. Die Nivellierung der Schienen kann aber über die Schotterung des Gleisbettes erfolgen.

Bei den Einlagerungsstrecken und hier insbesondere bei denen für die Bohrlochlagerung können höhere Konvergenzraten dagegen erhebliche Auswirkungen auf den Einlagerungsbetrieb haben. Zum einen lassen die begrenzten Platzverhältnisse den sporadischen Einsatz einer Firstenfräse nebst Fahrlader für den Haufwerkstransport in der einlagerungsfreien Zeit (z. B. in der Nachtschicht) ohne umfangreiche Vorbereitungsarbeiten, wie dem Abdecken der in ausgefrästen Kanälen in der Streckensohle verlegten Schienen (Überfahrerschutz), der Demontage der für die Sonderbewetterung erforderlichen Lutte und Installation einer Entstaubungsanlage, nicht zu. Zum anderen kommt im Gegensatz zur Streckenlagerung bei den Bohrlochstrecken hinzu, dass aufgrund der kleineren Gebindegrößen bei BSK 3 mit 3 Brennelementen gegenüber dem POLLUX-Behälter mit 8 Brennelementen sich bei gleicher Einlagerleistung (Anzahl Brennelemente/Zeit) eine um den Faktor 8/3 höhere Anzahl von Einlagerungszyklen bei der Bohrlochlagerung ergibt. Damit steht insgesamt entsprechend weniger einlagerungsfreie Zeit für die Durchführung von Sondermaßnahmen zur Verfügung.

Im Gegensatz zu den vergleichsweise sehr kurzlebigen Einlagerungsstrecken für die Streckenlagerung von POLLUX-Behältern, die im Wesentlichen unmittelbar nach Auffahrung, Gleisverlegung sowie Einrichtung der Sonderbewetterung rückbauartig belegt werden, wobei

Konvergenz eine eher untergeordnete Rolle spielt, sind die erforderlichen Offenstandszeiten bei den Bohrlochstrecken erheblich länger, so dass dadurch auch höhere absolute Konvergenzbeträge zu erwarten sind.

Geht man zunächst nur von der Dauer der Einlagerung aus, ergibt sich bei einer Einlagerleistung von einer BSK 3/Schicht und Arbeitstag bei 3 Bohrlöchern je Bohrlochstrecke und 48 BSK 3 pro Bohrloch eine Nutzungsdauer der Bohrlochstrecken von ca. 29 Wochen. Demgegenüber dauert die Einlagerung in einer etwa gleich langen Einlagerungsstrecke von ca. 200 m Länge, die etwa die Einlagerung von 15 POLLUX-Behältern (8 Brennelemente) mit einem Behälterabstand von 6 m (15 a Zwischenlagerzeit /Filbert 1998/) zulässt, bei gleicher Einlagerleistung (Brennelemente/Arbeitstag) nur ca. 40 AT bzw. 8 Wochen. Bei Verdoppelung der Einlagerleistung halbieren sich die Zeiten.

Legt man zur Gewährleistung eines kontinuierlichen bzw. weitgehend unterbrechungsfreien Einlagerungsbetriebes bei der Bohrlochlagerung den Idealfall eines rhythmischen Betriebsablaufes für die Einlagerung von 1 oder 2 BSK 3 pro Schicht und Arbeitstag zugrunde, sind mindestens 2 Bohrlochstrecken wechselweise parallel zu betreiben, um die Umrüstzeiten beim Wechsel zum nächsten Bohrloch zeitlich zum Einlagerungsbetrieb parallelisieren zu können. D. h., während der Einlagerung an einem Bohrloch einer Strecke wird zeitlich parallel das nächste Bohrloch in der anderen Strecke vorbereitet (Umsetzen KB/ÜB-Absperrung, Einrichten der Sonderbewetterung, Einbau des Aufnahmebohrers und der Bohrlochschleuse und die Montage der Ankerplatten für die Einlagerungsvorrichtung auf der Streckensohle). Nach Beendigung der Bohrlochverfüllung wird die Einlagerungsvorrichtung zum folgenden Bohrloch in die andere Strecke umgesetzt und die Einlagerung fortgeführt. Bei 2 im Wechsel betriebenen Bohrlochstrecken und 3 Bohrlöchern je Bohrlochstrecke ist die Einlagerung in der 1. Bohrlochstrecke erst nach Abschluss der Einlagerung an 5 Bohrlöchern (3. Bohrloch in 1. Bohrlochstrecke) beendet. Allein dadurch erhöht sich bereits die erforderliche Offenstandszeit von 29 Wochen auf ca. 48 Wochen bei einer Einlagerleistung von 1 BSK 3 pro Schicht und Arbeitstag bzw. auf 24 Wochen bei 2 BSK 3 pro Schicht und Arbeitstag.

Unter Einbeziehung der Vor- und Herrichtungsarbeiten vergrößern sich die Offenstandszeiten zusätzlich.

Rechnet man bei der Streckenlagerung den Aufwand für das Fräsen der Kanäle und das Verlegen der Schienen mit ein, ergeben sich unter Zugrundelegung von 50 m in 1,6 Wochen im 3-schichtigen Betrieb (Anhang 3-a) bei einer 200 m langen Strecke ca. 6,4 Wochen, so dass sich ohne Berücksichtigung der Auffahrung eine Offenstandsdauer von insgesamt ca. 14,4 Wochen (Einlagerleistung 3/8 POLLUX-Behälter entsprechend 1 BSK 3 pro Schicht und Arbeitstag) bzw. 10,4 Wochen (Einlagerleistung 6/8 POLLUX-Behälter entsprechend 2 BSK 3 pro Schicht und Arbeitstag) ergibt.

Bei der Bohrlochstrecke mit 3 Bohrlöchern kommen die Zeitaufwände für die Herstellung der Bohrlochkeller und für die Schienenverlegung zumindest für eine Strecke mit ca. 11,6 Wochen (Anhang 3-a, b, c), die Herstellung von zumindest einer Erkundungs- und Erweiterungsbohrung und die Herrichtung des 1. Betriebspunktes bzw. Bohrloches für die Einlagerung mit ca. 8,2 Wochen im 3-schichtigen Betrieb (Anhang 3-d, e, f) hinzu.

Einschließlich des Zeitaufwandes für die Auffahrung, für den sich unter Ansatz einer gleich hohen Vortriebsgeschwindigkeit von 3 bis 4 m pro Arbeitstag für beide Varianten ca. 11,5 Wochen ergeben, liegen die bis zum Ende der Einlagerungsvorgänge notwendigen Offenstandszeiten für die Bohrlochstrecken etwa um den Faktor 2,5 bis 3 über denjenigen der Strecken für die Streckenlagerung - Tabelle 3-1:

Tabelle 3-1: Vergleich der notwendigen Offenstandszeiten der Einlagerungsstrecken bis zum Ende der Einlagerungsvorgänge

Einlagerleistung	Streckenlagerung POLLUX (8 BE)	Bohrlochlagerung BSK 3
1 BSK 3 bzw. 3/8 POLLUX (8 BE) pro Schicht und Arbeitstag	25,9 Wochen	79,3 Wochen
2 BSK 3 bzw. 6/8 POLLUX (8 BE) pro Schicht und Arbeitstag	21,9 Wochen	55,3 Wochen

Die in Tabelle 3-1 angegebenen Werte für die Offenstandszeiten berücksichtigen bei den im Einzelnen durchzuführenden Arbeitsvorgängen keine zeitlichen Reserven. Zum anderen wäre unter den getroffenen Randbedingungen auch der parallele Einsatz von 2 Teilschnittmaschinen erforderlich. Praktisch ergibt sich daraus, dass es sich um Mindestwerte handelt und sich die Offenstandszeiten eher erhöhen. Darüber hinaus führen die größeren Auffahrquerschnitte bei den Bohrlochstrecken zu höheren absoluten Konvergenzbeträgen.

Insofern ist zu untersuchen, welche Konvergenzen in Bohrlochstrecken unter real zu erwartenden Bedingungen unter Berücksichtigung des Wärmeeintrags von Abfällen in benachbarten Bohrlöchern zu erwarten sind. Daraus lassen sich die erforderlichen Auffahrquerschnitte ermitteln, um einen reibungslosen Einlagerungsbetrieb sicherzustellen.

3.2.3.2 Sohlenschiefstellung

Sohlenschiefstellungen infolge Sohlenhebung können beim gleisgebundenen Transport im Wesentlichen in den Einlagerungsstrecken Probleme bereiten, da die auf den Plateauwagen transportierten Gebinde (POLLUX-Behälter und Transferbehälter für Kokillen) am Einlagerungsort durch die Einlagerungsvorrichtung übernommen werden und dazu die relativen Positionen von Behältertragzapfen müssen.

In den vergleichsweise kurzlebigen Einlagerungsstrecken werden die Gleise mit höhen- und seitenverstellbaren Befestigungseinrichtungen direkt in ausgefrästen Kanälen in der Streckensohle verankert. Dort sind aufgrund der asymmetrischen Anordnung der Gleise in den Einlagerungsstrecken Schiefstellungen der Gleise zu erwarten, jedoch besteht bei potenziellen Schiefstellungen der Streckensohle die Möglichkeit innerhalb gewisser Grenzen die Höhenlagen der Schienen auszugleichen.

In den langlebigen Richtstrecken und Querschlägen werden die Schienen auf Schwellen in einem Schotterbett verlegt. Bei Schiefstellungen der Streckensohle ist eine mögliche Maßnahme das Nachstopfen des Gleisbettes. Ein nachträgliches Senken der Sohle ist zwar theoretisch denkbar, jedoch praktisch ohne längere Unterbrechung des laufenden Einlagerungsbetriebes nicht zu realisieren. Im Überwachungsbereich bestehen keine Anforderungen an eine exakt horizontale Sohle, da dort nur Gleislosfahrzeuge verkehren und der Gurtförderer hängend an der Firste installiert ist.

3.2.3.3 Firstsicherung/Löserbildung

Im Hinblick auf die Beseitigung von Lösern ergeben sich bei der Streckenlagerung von POL-LUX-Behältern keine besonderen Anforderungen, da die Einlagerungsvorrichtung nur jeweils kurzzeitig (Tage) am Einlagerungsort verbleibt und somit Baufreiheit für die Durchführung von Firstsicherungsmaßnahmen besteht.

Im Gegensatz zur Streckenlagerung können sich bei der Bohrlochlagerung Probleme ergeben, da die Einlagerungsvorrichtung über einen längeren Zeitraum ortsgebunden ist. Eine Beseitigung von Lösern ist zum einen aufgrund der begrenzten Platzverhältnisse und zum anderem aus Schutzgründen für die Einlagerungsvorrichtung in dieser Phase nicht möglich oder würde ein zeitraubendes Umsetzen der Einlagerungsvorrichtung und die Abdeckung des Bohrlochkellers erfordern. Um dies zu vermeiden, können im Bereich der Aufstellungsorte der Einlagerungsvorrichtungen jedoch als Präventionsmaßnahme Anker und Netze eingebracht werden.

3.2.4 Zutritt von Lösungen und natürlichen Gasen

Während der Betriebsphase des Endlagers kommen bei den Lösungszutritten in das Grubengebäude nur Wetterlaugen und Lösungen aus dem Gebirge in Betracht.

Wetterlaugen treten vornehmlich in den Sommermonaten bedingt durch schwülwarme Luft im Einziehwetterstrom auf. In Verbindung mit der Hygroskopizität der Salzminerale kann diese im schachtnahen Bereich zu feuchten Stellen und Tropfstellen in der Firste von Grubenbauen führen, die kleine Laugentümpel auf der Streckensohle verursachen können. Wetterlaugen spielen mengenmäßig keine beachtenswerte Rolle und werden ggf. mit den Schachttropfwässern zutage gehoben.

Bei den Lösungen aus dem Gebirge kann es sich nach /WMC 02/ nur um im Salinar eingeschlossene, lokal begrenzte Lösungsreservoirs handeln, die durch Änderung des primären Spannungszustands im Gebirge infolge des

- Auffahrens von Grubenbauen und des
- Wärmeeintrags in das Gebirge durch die Abfälle

durch Aufbrechen von Wegsamkeiten zu den befahrbaren oder abgeworfenen und versetzten Grubenhohlräumen gelangen.

Unbegrenzte Lösungszutritte aus dem Gebirge sind nur bei einer hydraulisch wirksamen Verbindung zwischen Grubenbauen und grundwasserführenden Gesteinen des Neben- oder Deckgebirges möglich, die jedoch nicht zu besorgen sind.

Die Erfahrung zeigt, dass die Volumina an Restlösungen in abgeschlossen Reservoirs in Größenordnungen von Litern bis geschätzt 1.000 m³ in Salzdiapiren betragen können. Abweichungen sind möglich. Als Speichergesteine kommen vorwiegend klüftiger Anhydrit und untergeordnet Chloridgesteine in Frage /PTB 1982/. Nach /KBB 1988/ kommen Laugeneinschlüsse im Steinsalz der Staßfurt- und Leine-Folge (Na₂ und Na₃) gelegentlich vor, wobei die Einschlussmengen aber in vielen Fällen nur einige m³ betragen.

Als Zutrittsraten von Restlösungen in offene Grubenbaue sind ml/min bis in die Größenordnung von l/min bekannt. Dies ist für die Grubenbaue im Endlagerbergwerk (wegen vorangegangener Untersuchungen), die bei ihrer Erstellung trocken sind, nicht zu erwarten. Es wird jedoch unterstellt, dass die genannten Zuflüsse nach Abwerfen eines Einlagerungsfeldes auftreten /PTB 1982/.

Hinsichtlich auftretender natürlicher Gase kommen nach /BfS 1994/ vor allem verschiedene Gemische aus den Hauptkomponenten Stickstoff, Sauerstoff, Methan und Wasserstoff vor. Untergeordnete Bedeutung haben Kohlenoxide, Schwefelwasserstoff, höhere Kohlenwasserstoffe oder Edelgase.

Aufgrund der vorlaufenden Erkundung sind durch die Nutzung des Endlagers bedingte Szenarien durch relevante Zutritte von Wässern, Salzlösungen und natürlichen Gasen in die befahrbaren oder bereits abgeworfenen und versetzten Grubenbaue während der Betriebsphase wenig wahrscheinlich.

Vor dem Auffahren einer jeden Strecke wird deren geplanter Verlauf durch Vorbohren erkundet. Die untertägige Erkundung beginnt mit horizontalen Bohrungen aus dem Schacht heraus auf dem Niveau der Erkundungsstrecken. Die Erkundungsstrecken werden in durch die Vorbohrungen erkundeten Bereichen aufgefahren. Von diesen Erkundungsstrecken aus werden horizontale und geneigte Erkundungsbohrungen gestoßen. Ggf. anfallende Lösungen aus Lösungsreservoirs werden aufgefangen und abgeführt. Freigesetzte natürliche Gase werden durch die Bewetterung auf ein un-schädliches Maß verdünnt. Mit Hilfe der Erkenntnisse aus dem Erkundungsprogramm (Strecken und Bohrungen) werden geeignete Bereiche für die Endlagerung der radioaktiven Abfälle innerhalb des Salzstocks erkannt.

Zum Zeitpunkt der beginnenden Einlagerung (Betriebsphase) sind die Richtstrecken und Querschläge auf der Erkundungssohle und der Einlagerungssohle fertiggestellt und das Grubengebäude weiträumig erkundet.

Bei den Einlagerungsstrecken und Bohrlöchern für die Bohrlochlagerung erfolgt die Erkundung hingegen zeitlich parallel zum laufenden Einlagerungsbetrieb durch Vorbohrungen in

Strecken und das Niederbringen der Erkundungsbohrungen sowie geologische Auswertung der Bohrlochkerne und geophysikalische Messungen.

Sollte während Herstellung der Vorbohrungen oder Erkundungsbohrungen ein Reservoir angetroffen werden, werden anfallende Lösungen abgeführt und zutretende Gase dosiert an die Wetter abgegeben und dadurch auf ein unschädliches Maß verdünnt. Dazu dienen spezielle Absperreinrichtungen am Bohrlochmund, die auf petrostatische Einschlussdrücke ausgelegt sind.

Nach der Erkundung erfolgt, sofern die Auswertung der Erkundungsergebnisse nicht dagegen spricht, der Vortrieb der Einlagerungsstrecke bzw. die Herstellung der Erweiterungsbohrung und anschließend die Einlagerung.

Nach /PTB 1982/ wird unterstellt, dass infolge wärmeinduzierter Spannungsänderungen verschlossene Wegsamkeiten zwischen den Einlagerungsfeldern (Strecken und Bohrlöcher) und den möglichen Lösungsreservoirien neu entstehen können. Sind potenzielle Speicherhorizonte von Strecken durchörtert, könnten sich Wegsamkeiten bevorzugt über die abgeworfenen Strecken zu den Abfällen hin ausbilden.

Bei der Streckenlagerung von POLLUX-Behältern würden in diesem Falle, sofern die Felder noch nicht durch Verschlussbauwerke vom restlichen Grubengebäude abgetrennt sind, die zutretenden Lösungen durch den Salzgrusversatz zu den betrieblich noch genutzten Grubenbauen laufen. Dort können sie jedoch aufgefangen und abgeführt werden. Zutretende natürliche Gase gelangen ggf. ebenfalls durch den Versatz und werden von der Wetterführung erfasst und abgeführt. Ansammlungen zündfähiger Gasgemische in Resthohlräumen zwischen dem eingebrachten Salzgrusversatz und der Streckenfirste führen zu keinen Auswirkungen, da die Behälter vollständig in Salzgrus eingebettet sind und eine Zündquelle (Auftreten von Funken durch Schleifen oder Schlagen von „Metall auf Metall“) nicht gegeben ist. Das gleiche gilt für die künstliche Wasserstoffbildung, bei der die wesentlichen Bildungsmechanismen Korrosion und Radiolyse sind. Schleif- oder Schlagfunken zwischen Salzmaterialien (Salzgrus, Salzgestein) können nach /BfS 1994/ ausgeschlossen werden, da die dabei übertragene Energie zum Schmelzen oberflächennaher Salzkristalle und nicht zum Aufglühen derselben führt.

Bei der Bohrlochlagerung ist aufgrund der voran gegangenen Erkundung während der Einlagerung bzw. der Nutzungsphase eines Bohrlochs ein Zutreten von Lösungen und/oder natürlichen Gasen ebenso nicht zu erwarten. Ferner ließen der nur kleine Ringraum zwischen Kokille und Bohrlochwand sowie der in diesen eingebrachte Salzgrusversatz nur geringe Entspannungsbewegungen zu, die zu Wegsamkeiten zwischen einem weiter entfernt liegenden und im Rahmen der Erkundung nicht entdeckten Lösungsreservoir im Gebirge und dem Bohrloch führen könnten.

Sollte dieser Fall dennoch eintreten, wäre im Gegensatz zu einem Lösungszutritt in einer Strecke ein Abpumpen der zutretenden Lösungen aus einem Bohrloch praktisch nicht möglich bzw. nur oberhalb der zuletzt eingebrachten Kokille denkbar.

Dieser Fall ist zwar unwahrscheinlich, jedoch nicht gänzlich auszuschließen. Insofern ist unter Berücksichtigung der vorgesehenen geophysikalischen Messmethodik für das Auffinden von Lösungsreservoirs zu untersuchen und zu bewerten, wie hoch trotz vorlaufender Erkundung die Wahrscheinlichkeit für das Vorhandensein eines unentdeckten Lösungsreservoirs ist und welche potenziellen Lösungsvolumina tatsächlich auftreten können.

Daraus leiten sich Anforderungen an betriebliche Maßnahmen wie dem Abfördern der Lösungen sowie an die endgültigen Bohrlochverschlüsse ab.

Bei einem Zutreten natürlicher Gase in das Bohrloch während der Nutzungsphase besteht ebenfalls die Gefahr der Bildung zündfähiger Gasgemische und aufgrund einer nicht auszuschließenden Zündquelle „Metall auf Metall“, z. B. durch Auftreten von Schleif- oder Schlagfunken beim Einlagerungsvorgang infolge des Anstoßes einer Kokille an die Bohrlochschleuse oder des Anstoßes des Kokillengreifers an den Greifpilz der Kokille, die Gefahr einer Deflagration.

Nach /BfS 1994/ ist für die Zündmöglichkeit eines Wasserstoff-Luft-Gemisches von einer Minimalenergie von ca. 0,02 mJ auszugehen. Schleif- oder Schlagfunken von z. B. Metall- oder Betonmaterialien können Energien bis zu ca. 1 mJ übertragen. Das Auftreten solcher Funken ist unwahrscheinlich, kann jedoch nicht ausgeschlossen werden.

Da die Energiedichte von potenziellen Gasexplosionen hohlraumabhängig ist, ist aufgrund des mehr oder weniger großen luftgefüllten Raumes oberhalb der zuletzt eingebrachten Kokille mit erheblichen Auswirkungen auszugehen (z. B. Beschädigung des Bohrlochverschlusses). Nach abgeschlossener Befüllung des Bohrlochs gelten die gleichen Ausführungen wie zur Streckenlagerung. Die Gebinde sind dann vollständig in Salzgrus eingebettet und große zusammenhängende Hohlräume für die Ansammlung zündfähiger Gasgemische aufgrund des eingebrachten Versatzes sowie die Zündquelle „Metall auf Metall“ sind nicht mehr vorhanden.

Insofern ist zu untersuchen, wie hoch trotz vorlaufender Erkundung die Wahrscheinlichkeit für einen Zutritt natürlicher Gase (insbesondere Wasserstoff und Methan) in ein Bohrloch ist und welche potenziellen Mengen tatsächlich anfallen können. Es ist zu prüfen, ob dieser Fall ausgeschlossen werden kann. Sollte dies nicht der Fall sein, sind die potenziellen Auswirkungen einer Deflagration zu ermitteln.

Eine künstliche Wasserstoffbildung durch Korrosion oder Radiolyse während der Betriebsphase wird aufgrund der konvergenzbedingten notwendigen kurzen Einlagerungszeit als nicht relevant betrachtet.

3.2.5 Anlageninterner Brand

Ein wichtiger Aspekt sowohl im kerntechnischen als auch in konventionellen Teil des Endlagers ist der Brandschutz.

Brände können nur bei Brandlasten und vorhandener Zündquelle sowie Sauerstoff entstehen.

Hinsichtlich ihrer Entstehungsart werden exogene und endogene Brände unterschieden.

Exogene Brände werden durch Einwirkung hoher Temperaturen hervorgerufen, deren Ursprung außerhalb des brennbaren Stoffes selbst liegt. Endogene Brände sind Selbstentzündungsbrände, wie sie z. B. beim Abbau von Steinkohle durch ungewollte Zufuhr von Schleichwettern im alten Mann auftreten können. Diese sind im Salzbergbau jedoch ausgeschlossen. Insofern werden endogene Brände nicht weiter betrachtet.

Als Entstehungsursachen für exogene Brände kommen u. a. vor allem folgende in Betracht:

- Schweiß- und Schneidarbeiten
- Umgang mit brennbaren Flüssigkeiten
- Reibungswärme an maschinellen Betriebsmitteln (Heißlaufen)
- schadhafte elektrische Anlagen
- Kollision von ortsbeweglichen Betriebsmitteln (Entzündung ausgelaufener Treibstoff)

Zu den Brandschutzmaßnahmen untertage gehören im Wesentlichen:

- Administrative Brandschutzmaßnahmen
- insgesamt geringe Brandlasten
- Verwendung schwerentflammbarer Werkstoffe (Lutten, Gurtförderanlage)
- Brandbekämpfungseinrichtungen (Vorhaltung fahrbarer- und tragbarer Feuerlöschgeräte)
- Brandschutz an Fahrzeugen (Bordlöschanlagen)
- Branderkennung (z. B. CO-Überwachung in den Wettern)
- Einteilung in Brandabschnitte
- Mögliche Drosselung Frischwetterzufuhr (Brandklappen im einziehenden Schacht, Brandtore, Branddämme)
- Rettungseinrichtungen und -wege

Die vorstehenden Brandschutzmaßnahmen haben allgemeinen Charakter, d. h. sie gelten auch für konventionelle Bergwerke. Sie sind im Rahmen weiterführender Planungen noch im Einzelnen festzulegen und finden im Brandschutzkonzept ihren Niederschlag.

Im Hinblick auf das geplante Endlager ergibt sich aufgrund der Einlagerung von radioaktiven Abfällen im Vergleich zu einem konventionellen Bergwerk im Wesentlichen der Unterschied, dass das Grubengebäude in einen Überwachungs- und einen Kontrollbereich unterteilt ist.

Die Betriebsabläufe in beiden Bereichen sind voneinander räumlich getrennt. Im Überwachungsbereich finden Auffahrungsarbeiten, die Herstellung der Bohrlöcher für die Bohrlochlagerung sowie Haufwerkstransporte von den Einlagerungsfeldern direkt zum Schacht oder zum zentral gelegenen Versatzbunker zur Übergabe an den Kontrollbereich zu Versatzzwecken statt. Im Kontrollbereich erfolgen der Transport und die Einlagerung der

Gebinde sowie Versatztransporte vom Versatzbunker zu den Einlagerungsfeldern und das Versetzen der Gebinde und Strecken.

Im Hinblick auf den Grubengebäudezuschnitt des geplanten Endlagers und den vorgesehenen Betriebsabläufen für die Einlagerung sowie für den Vortrieb auf der Einlagerungssohle ergeben sich jedoch Schnittstellen zwischen Kontroll- und Überwachungsbereich, die im Hinblick auf zwei Aspekte detaillierter zu betrachten sind:

- Vermeidung eines Übergreifens eines Brandes im Überwachungsbereich auf radioaktive Stoffe im Kontrollbereich, um zusätzlich Brandrisiken mit einer potenziellen Freisetzung radioaktiver Stoffe auszuschließen
- Sicherstellung von zwei Fluchtwegen von den Arbeitsstätten unter Tage zur Tagesoberfläche

Zwischen den im Überwachungsbereich und Kontrollbereich stattfindenden Betriebsabläufen gibt es aufgrund der räumlichen Trennung keine verkehrstechnischen Berührungspunkte und damit keine Gefährdung der Betriebssicherheit, z. B. infolge einer Kollision von Fahrzeugen mit Brandfolge. Gleichwohl können Brände weder im Überwachungsbereich noch im Kontrollbereich ausgeschlossen werden. Hinsichtlich eines möglichen Übergreifens eines Brandes vom Überwachungsbereich auf den Kontrollbereich sind die Schnittstellen beider Bereiche in den Einlagerungsfeldern zu betrachten, da vorgesehen ist, Einlagerungs- und Vortriebsaktivitäten sowie bei der Bohrlochlagerung zusätzlich die Bohrarbeiten in einem Einlagerungsfeld gleichzeitig durchzuführen. Aufgrund der örtlichen Nähe der zeitgleich ablaufenden Arbeiten kommt dort den beiden o. g. Aspekten besondere Bedeutung zu.

Unter Zugrundelegung des Konzeptes mit Abwetterführung über die Erkundungssohle sind aus wettertechnischen und radiologischen Gründen in den zwischen den beiden Richtstrecken angelegten Querschlägen, von denen die Einlagerungs- oder Bohrlochstrecken abzweigen, temporäre Absperrungen vorgesehen, um sowohl eine gerichtete Wetterströmung vom Überwachungsbereich auf der Einlagerungssohle in den Kontrollbereich auf der Erkundungssohle sicherzustellen als auch ein Übertreten von potenziell kontaminierten Wetter aus dem Kontrollbereich in den Überwachungsbereich auf der Einlagerungssohle zu vermeiden.

Beim notwendigen Wechsel zur nächsten Einlagerungs- oder Bohrlochstrecke müssen die temporären Abdichtungen zuvor im Querschlag verlegt werden. Innerhalb der Bohrlochstrecken gilt dies zusätzlich beim Wechsel zum nächsten Bohrloch, da konvergenzbedingt die Herstellung der Bohrlöcher möglichst spät, d. h. erst kurz vor der geplanten Nutzung erfolgen soll. Ablauftechnisch hat das Verlegen einer temporären Absperrung so zu erfolgen, dass zunächst vom Überwachungsbereich aus eine neue Absperrung am neuen Standort errichtet und erst anschließend vom Kontrollbereich aus die alte entfernt wird.

Im Hinblick auf den ersten Aspekt kommt der temporären Absperrung auch brandschutztechnische Bedeutung zu, so dass bei Auslegung entsprechend einer noch festzulegenden Feuerwiderstandsklasse z. B. im Falle eines Fahrzeugbrandes im zum Überwachungsbereich gehörenden Teil des Querschlags ein Übergreifen des Brandes auf einen im

Kontrollbereich verkehrenden Gebindetransport jenseits der Absperrung nicht zu besorgen ist. Dasselbe trifft auch bei den temporären Absperrungen in den Bohrlochstrecken zu.

Im Hinblick auf den zweiten Aspekt muss gemäß § 15 ABBERgV /ABBERgV 2005/ jede Arbeitsstätte auf mindestens zwei getrennten Wegen verlassen werden können. Darüber hinaus müssen gemäß § 49 ABVO (1) /ABBERgV 2005/ von allen Betriebspunkten unter Tage 2 getrennte fahrbare Ausgänge zur Tagesoberfläche erreichbar sein.

In Streckenvortrieben > 400 m Länge, in denen keine Verbindung zu anderen Grubenbauen besteht und den Beschäftigten der Fluchtweg durch Brand versperrt werden kann, sind nach ABVO § 49 (3) /ABBERgV 2005/ Einrichtungen vorzusehen, in denen die Beschäftigten für mindestens 4 Stunden vor Brandschwaden geschützt sind. Die Einrichtungen dürfen nicht weiter als 300 m von der Ortsbrust entfernt sein.

Aufgrund des Grubengebäudezuschnitts ist im Brandfall zu gewährleisten, dass die Belegschaft sowohl durch die temporären Absperrungen vom Kontrollbereich in den Überwachungsbereich fliehen kann als auch umgekehrt. Demzufolge sind die temporären Absperrungen mit Brandtüren entsprechend der erforderlichen Feuerwiderstandsklasse auszustatten.

Abbildung 3-4 illustriert die Fluchtwegsituation an einem Beispiel, in dem an 5 ausgewählten Brandorten (Orte 1 bis 5) deutlich wird, welche Fluchtmöglichkeiten der an den Orten a bis f sich aufhaltenden Belegschaft zur Verfügung stehen (Ort a: Einlagerung/Versetzen Kokillen; Ort b: Einlagerung/Versetzen POLLUX-Behälter; Orte c und d: Auffahrung; Orte e und f: Herstellung Bohrlöcher) und dass damit zu jedem Zeitpunkt ein 2. Fluchtweg sichergestellt ist.

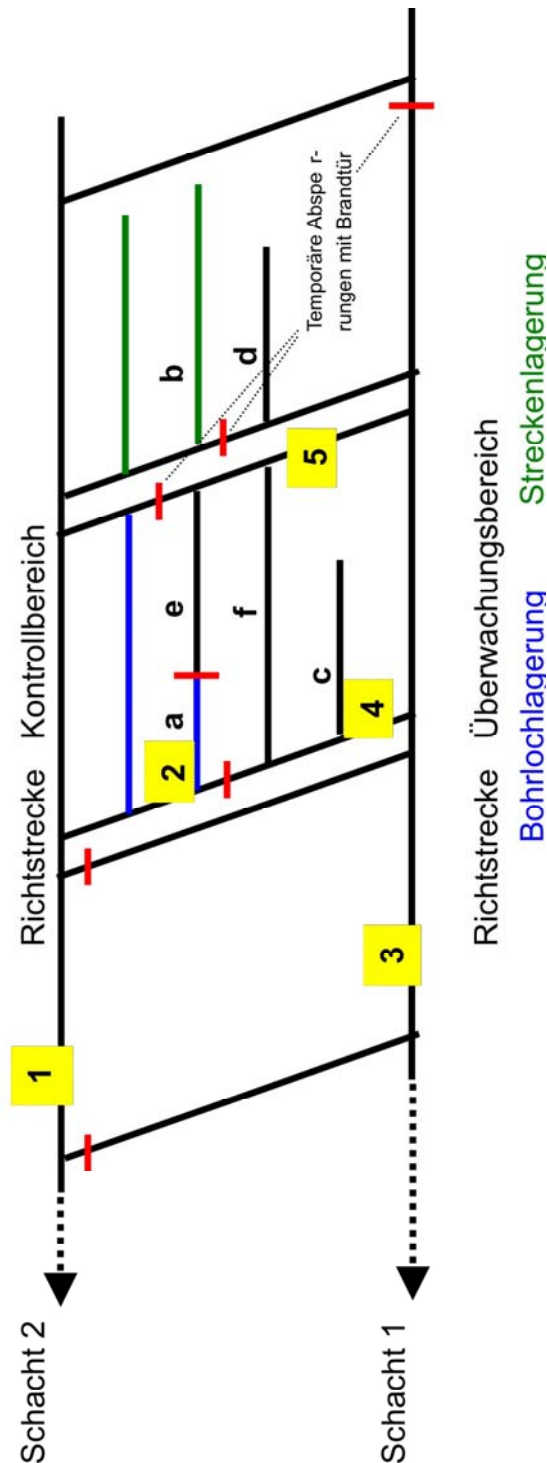


Abbildung 3-4: Beispielhafte Darstellung der Brandorte (1 bis 5) und der Aufenthaltsorte für die Belegschaft (a bis f)

Im Einzelnen ergeben sich folgende Fluchtmöglichkeiten:

- Brandort 1:** Belegschaft an Orten a und b: Flucht über Brandtüren in temporären Absperungen in Querschlägen vom Kontrollbereich in Überwachungsbereich in Richtstrecke zu Schacht 1
Belegschaft an Orten c, d, e und f: Flucht in Richtstrecke zu Schacht 1

- Brandort 2: Belegschaft am Ort a: Flucht in Richtstrecke zu Schacht 2 (am Entstehungsbrand vorbei) oder über Brandtüren in temporären Absperrungen im Querschlag oder in Bohrlochstrecke vom Kontrollbereich in Überwachungsbereich in Richtstrecke zu Schacht 1
Belegschaft am Ort b: Flucht in Richtstrecke zu Schacht 2 oder über Brandtür in temporärer Absperrung im Querschlag vom Kontrollbereich in Überwachungsbereich in Richtstrecke zu Schacht 1
Belegschaft an Orten c, d, e und f: Flucht in Richtstrecke zu Schacht 1
- Brandort 3: Belegschaft an Orten a und b: Flucht in Richtstrecke zu Schacht 2
Belegschaft an Orten c, d, e und f: Flucht über Brandtüren in temporären Absperrungen in Querschlägen bzw. in Bohrlochstrecke vom Überwachungsbereich in Kontrollbereich in Richtstrecke zu Schacht 2
- Brandort 4: Belegschaft an Orten a und b: Flucht in Richtstrecke zu Schacht 2
Belegschaft an Orten c, d, e und f: Flucht über Brandtüren in temporären Absperrungen in Querschlägen bzw. in Bohrlochstrecke vom Überwachungsbereich in Kontrollbereich in Richtstrecke zu Schacht 2
- Brandort 5: Belegschaft an Orten a und b: Flucht in Richtstrecke zu Schacht 2
Belegschaft an Orten c, d, und f: Flucht in Richtstrecke zu Schacht 1 oder über Brandtür in temporärer Absperrung im Querschlag vom Kontrollbereich in Überwachungsbereich in Richtstrecke zu Schacht 2
Belegschaft am Ort e: Flucht über Brandtür in temporärer Absperrung im Querschlag oder in Bohrlochstrecke vom Kontrollbereich in Überwachungsbereich in Richtstrecke zu Schacht 2

Die Bewetterungskonzeption mit Entwetterung der Einlagerungssohle über Wetterrolllöcher zur Erkundungssohle ermöglicht im Brandfall auf der Einlagerungssohle zudem, dass eine Flucht im Wesentlichen immer im Frischwetterstrom erfolgen kann.

Auf der Erkundungssohle finden während der Betriebsphase nur geringe Aktivitäten statt, die hauptsächlich aus dem Versetzen von Richtstreckenteilen und Querschlägen oberhalb abgeworfener Einlagerungsfelder im Rückbau auf die zentral gelegenen Schächte zu sowie aus der Errichtung von Verschlüssen bestehen. Es ist davon auszugehen, dass einer Richtstrecke Frischwetter vom Schacht 1 zugeführt werden, die bis zu den gerade für die Entwetterung der Einlagerungssohle genutzten Querschlägen ziehen, sich dort mit den Abwettern mischen und über die andere Richtstrecke zum Schacht 2 zurück geführt werden. Die jeweils schachtnäheren Querschläge sind bis zu deren Nutzung zur Entwetterung wettertechnisch verschlossen (Wettertor).

Im Falle eines Brandes steht der Belegschaft auch hier jederzeit ein 2. Fluchtweg zur Verfügung. Im Vergleich zur Einlagerungssohle ist aber nur ein Frischwetterweg vorhanden, so dass die Belegschaft im Brandfall ggf. in den Brandgasen fliehen muss. Generell sind per-

sönliche Schutzausrüstungen (Filterselbstretter) jedoch nach ABVO § 206 ABergV 2005 vorgeschrieben.

Die Forderung nach 2 getrennten Ausgängen zur Tagesoberfläche gemäß § 49 ABVO ABergV 2005 ist durch die Schächte 1 und 2 erfüllt. Streckenvortriebe bzw. sonderbewetterte Strecken von > 400 m Länge kommen nach derzeitigem Planungsstand während der Betriebsphase nicht vor. Ggf. können jedoch Fluchtcontainer aufgestellt werden.

Insofern ergibt sich hinsichtlich der Betriebssicherheit kein Untersuchungsbedarf.

3.2.6 Entgleisung eines beladenen Plateauwagens

Im Vorhaben /DBE 1995/ wurden möglichen Betriebsstörungen beim Plateauwagen analysiert und Maßnahmen zu deren Behebung geplant. Aufgrund dieser Analyse der möglichen Betriebsstörungen sind zwei grundsätzlich zu demonstrierende Maßnahmen im Bereich der Kurven zur Behebung von Betriebsstörungen erkannt und detailliert geplant und durchgeführt worden. Dies sind im einzelnen:

- die Bergung eines fahruntüchtigen Plateauwagens und
- die Bergung eines entgleisten Plateauwagens.

Alle untersuchten Betriebsstörungen sind durch eine einzelne Maßnahme oder durch eine Kombination der Maßnahmen zu beheben.

Es zeigte sich, dass geübtes Betriebspersonal in einem Zeitraum von ca. 150 min in der Lage ist, die Fahrfähigkeit eines entgleisten und fahruntüchtigen beladenen POLLUX-Plateauwagens mit einem handelsüblichen Aufgleisequipment wieder herzustellen. Hierbei erhält unter konservativen Annahmen das Betriebspersonal eine Personendosis zwischen 68 μSv (6,8 mrem) und 81 μSv (8,1 mrem). Die Kollektivdosis beträgt ca. 309 μSv (30,9 mrem).

Unter Ansatz der Zwischenlagerbedingungen für die POLLUX-Behälter ergaben sich im Mittel für Neutronen- oder Gammastrahlung eine Dosisleistung von < 0,1 mSv/h an der äußeren Behälteroberfläche. Daraus ergibt sich eine Personendosis zwischen ca. 14 μSv (1,4 mrem) und 53 μSv (5,3 mrem) und eine Kollektivdosis von 67 μSv (6,7 mrem). Diese liegen deutlich unter dem zulässigen Grenzwert von 20 mSv im Kalenderjahr /StrlSchV 2005/. Insofern ergibt sich hinsichtlich der Betriebssicherheit kein Untersuchungsbedarf.

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 3-1: Vergleich der notwendigen Offenstandszeiten der Einlagerungsstrecken bis zum Ende der Einlagerungsvorgänge	42

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abbildung 3-1: Schematische Darstellung des Grubengebäudezuschnitts	31
Abbildung 3-2: Schematische Darstellung des Grubengebäudes mit Aufteilung in Kontroll- und Überwachungsbereich	33
Abbildung 3-3: Entwicklung der Vororttemperatur nach Ausfall Sonderbewetterungsanlage (SBA) und verschiedenen Wiederinbetriebnahmezeitpunkten	38
Abbildung 3-4: Beispielhafte Darstellung der Brandorte (1 bis 5) und der Aufenthaltsorte für die Belegschaft (a bis f)	50

Abkürzungsverzeichnis

AT	Arbeitstage
AtG	Atomgesetz
AVR	Atomversuchsreaktor, Jülich
BE	Brennelement
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BMU	Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMWA	Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit
BS	Brennstab
BSK	Brennstabkokille
BSK 3	Brennstabkokille, beladen mit Brennstäben von 3 DWR-BE
CSD-B	Colis de déchets ...
CSD-C	Colis de déchets compactés
DWR	Druckwasserreaktor
DWR-MOX-BE	Mischoxid-Brennelement eines DWR
DWR-U-BE	Uran-Brennelement eines DWR
FRM II	Forschungsreaktor München 2
HAW	High Active Waste
HTR	Hochtemperaturreaktor
KB	Kontrollbereich
KKW	Kernkraftwerk
KNK	kompakte natriumgekühlte Kernreaktoranlage
LWR	Leichtwasserreaktoren
MAW	Medium Active Waste
MAW-Q	Medium Active Waste, wärmeentwickelnd
MTR	Material Test Reactor
POLLUX-10	POLLUX-Behälter, beladen mit Brennstäben von 10 DWR-BE
PSA	Probabilistische Sicherheitsanalyse
RSK	Reaktorsicherheitskommission
SBA	Sonderbewetterungsanlage
SWR	Siedewasserreaktor
THTR	Thorium-Hochtemperaturreaktor, Hamm-Uentrop
ÜB	Überwachungsbereich
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
VEK	Verglasungseinrichtung des Forschungszentrums Karlsruhe
VKTA	Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik, Rossendorf
WAK	Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe

Literaturverzeichnis

- /ABergV 2005/ Allgemeine Bundesbergverordnung (ABergV) vom 23.10.1995 (BGBl. I S. 1466; zuletzt geändert durch Art. 1 der Verordnung vom 10.08.2005 (BGBl. I S. 2452)
- /ABVO 1995/ Allgemeine Bergverordnung über Untertagebetriebe, Tagebaue und Salinen (ABVO) vom 02.02.1966 (Nds. MBl. S. 337); zuletzt geändert durch Verordnung vom 23.10.1995 (BGBl. I S. 1466)
- /ADR 2005/ Fuhrmann J., Huster F.: Gefahrgutrecht: ADR 2005, Kapitel 6.4.8.13, ISBN 3-8249-0898-0, TÜV-Verlag, 2005
- /AtG 2005/ Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz) vom 23. Dezember 1959 (BGBl. I S. 814) in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565) (BGBl. III S. 751-1), zuletzt geändert durch Art. 1 des Gesetzes vom 12. August 2005 (BGBl. I S. 2365)
- /BAnz. 1977/ Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke, BAnz. 1977, Nr. 206
- /BAnz. 1983/ Störfall-Leitlinien, BAnz. 1983, Nr. 245a
- /BAnz. 1990/ Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoff aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen vom 21. Februar 1990, in Überarbeitung – neuer Bezug auf § 47 StrlSchV i. d. F. v. 20. Juli 2001, BAnz. 1990, Nr. 64a
- /BAnz. 2004/ Grundlagen für Sicherheitsmanagementsysteme in Kernkraftwerken, BAnz. 2004, Nr. 138, S. 16275
- /BbergG 2005/ Bundes-Berggesetz (BbergG) vom 13.08.1980 (BGBl. I S. 1310); zuletzt geändert durch Art. 37 des Gesetzes vom 21.06.2005 (BGBl. I S. 1818)
- /BfS 1994/ BfS-Vermerk ET2.3/Dr. Wohanka
ERAM, Sicherheitstechnische Anforderungen an den Versatz und den Abschluss der Einlagerungsbereiche von radioaktiven Abfällen (9M1/DA/AL/0012/00), Braunschweig 23.02.1994
- /BfS 2005/ Methoden zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke, Stand: August 2005, Facharbeitskreis, Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke, BfS
- /BMI 1983/ Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk, Rdschr. D. BMI v. 20.4.1983 –RS – AGK 3 – 515 790/2 -

/BMU 2005/	Bekanntmachung des Leitfadens zur Durchführung der „Sicherheitsüberprüfung gemäß § 19a des Atomgesetzes –Leitfaden Probabilistische Sicherheitsanalyse-„ für Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland BMU, 30. August 2005
/BMU 2005a/	BMU-Pressedienst Nr. 261/05, Berlin, 16.09.2005
/BVOS 2005/	Bergverordnung für Schacht- und Schrägförderanlagen (BVOS) vom 13.07.2005 (GVBl. LSA S. 352)
/DBE 1995/	Engelmann, H.-J.; Filbert, W.: Direkte Endlagerung ausgedienter Brennelemente – Handhabungsversuche zur Streckenlagerung; Abschlussbericht, DEAB T 60, Peine, 1995, S. 7-1
/DBE 2005/	Workshop - Gegenüberstellung von Endlagerkonzepten im Salz und Tongestein - GEIST-
/Deutscher Bundestag 2004/	Unterrichtung durch die Bundesregierung, Übereinkommen über nukleare Sicherheit, Bericht der Regierung der Bundesrepublik Deutschland für die Dritte Überprüfungstagung im April 2005, Deutscher Bundestag, 15. Wahlperiode, Drucksache 15/3650, 18.08.2004
/DIN 1981/	DIN 25 424, Fehlerbaumanalyse, September 1981
/DIN 1985/	DIN 25 419, Ereignisablaufanalyse, November 1985
/DIN EN 563/	DIN EN 563: Temperaturen berührbarer Oberflächen, Januar 2000
/ElBergV 2001/	Bergverordnung für elektrische Anlagen (Elektro-Bergverordnung – ElBergV) vom 27.11.2001 (GVBl. LSA S476)
/Filbert 1998/	Filbert, W.; Engelmann, H.-J.: Aktualisierung des Konzeptes Endlager Gorleben; Abschlussbericht, Rev. 01, Peine, 1998, S. 119, unveröffentlicht
/GRS 2002a/	Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk - Überarbeitete Diskussionsgrundlage - GRS, Januar 2002, Auftrags-Nr.: 85471
/GRS 2002b/	Präzisierung und Weiterentwicklung der Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk - Entwurf -, GRS, 12.03.02
/GRS 2005a/	- TEXTMODUL - „Sicherheitsanforderungen für Kernkraftwerke: Grundlegende Sicherheitsanforderungen“, Revision A ENT-WURF, GRS, PHB, Öko-Institut, September 2005, Auftrags-Nr.: 813071, SR 2475, Ergebnisse Team 1

- /GRS 2005b/ - TEXTMODUL -, „Sicherheitsanforderungen für Kernkraftwerke: Bei Druck- und Siedewasserreaktoren zu berücksichtigende Ereignisse“, Revision A ENTWURF, GRS, PHB, Öko-Institut, September 2005, Auftrags-Nr.: 813071, SR 2475, Ergebnisse Team 3
- /GRS 2005c/ - TEXTMODUL -, „Sicherheitsanforderungen für Kernkraftwerke: Anforderungen an Nachweisführungen“, Revision A ENTWURF, GRS, PHB, Öko-Institut, September 2005, Auftrags-Nr.: 813071, SR 2475, Ergebnisse Team 6
- /IAEA 1994/ Convention on Nuclear Safety, IAEA, INFIRC/449, 5 July 1994
- /IAEA 1997/ JOINT CONVENTION ON THE SAFETY OF SPENT FUEL MANAGEMENT AND ON THE SAFETY OF RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT, IAEA, INFIRC/546, 24 December 1997
- /KBB 1988/ Einschlüsse von Laugen und Gasen in norddeutschen Salzstöcken anhand ausgewählter Beispiele
Kavernen Bau- und Betriebs-GmbH, Januar 1988, S. 3-5
- /KlimaBergV 1983/ Bergverordnung zum Schutz der Gesundheit gegen Klimaeinwirkungen (Klima-Bergverordnung – KlimaBergV) vom 09.06.1983 (BGBl. I S. 685)
- /Leitfaden 2005/ Sicherheitsüberprüfung gemäß § 19a des Atomgesetzes - Leitfaden Probabilistische Sicherheitsanalyse -, 31. Januar 2005
- /PeM 2006/ Persönliche Mitteilung, Berechnung der Sohlenhebung im älteren Steinsalz, Knipfer, 14.06.2006
- /PTB 1982/ Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Mai 1982, S. 122-128
- /RSK / SSK 2002/ Gemeinsame Stellungnahme der RSK und der SSK betreffend BMU-Fragen zur Fortschreibung der Endlager-Sicherheitskriterien, 5./6.12.2002
- /RSK 1996/ RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren, Ursprungsfassung, 3. Ausgabe vom 14.10.1981 mit Änderungen vom 15.11.1996
- /RSK 2005/ RSK-EMPFEHLUNG, GESTAFFELTES SICHERHEITSKONZEPT, 08.09.2005 (386. Sitzung)
- /StrlSchV 2005/ Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlung (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714, ber. 2002 I S. 1459) (BGBl. III 751-1-8), zuletzt geändert durch Art. 2 §3 des Gesetzes vom 1. September 2005 (BGBl. I S. 2618, 2658)
- /WMC 02/ Preuss, J. et al. (BfS); Müller-Hoeppe, N. et al. (DBE): Post closure safety of the Morsleben Repository, WM '02 Conference, February 24-28, 2002, Tucson, AZ, USA

Anhang 1: Betriebsablauf für die Streckenlagerung von POLLUX-Behältern

- Aufschieben des beladenen Plateauwagens auf den abgesetzten Korbzwischenboden, nachdem ein leerer Plateauwagen vom Förderkorb abgeschoben wurde
- Förderung des beladenen Plateauwagens nach unter Tage
- Abziehen des beladenen Plateauwagens vom Förderkorb, Aufschieben eines leeren Plateauwagens auf den Förderkorb
- Verfahren des Plateauwagens mit Hilfe des Querverschubs auf das Bereitstellungs-gleis
- Ankuppeln der Batterielok an den Plateauwagen
- Transport des beladenen Plateauwagens über Richtstrecke, Querschlag in die Einlagerungsstrecke
- Positionierung des beladenen Plateauwagens unterhalb der Einlagerungsvorrichtung ELVIS
- Anheben des POLLUX mit der Einlagerungsvorrichtung ELVIS, Zurückziehen des Plateauwagens und Ablegen des POLLUX auf der Sohle
- Ankuppeln der Einlagerungsvorrichtung ELVIS an Plateauwagen und Vorziehen. Abkuppeln und Unterfahren ELVIS mit Plateauwagen sowie Absetzen EL-VIS auf Plateauwagen. Umsetzen ELVIS in Nachbarstrecke
- Fahrt des mit Salzgrus beladenen Schleudertrucks oder alternativ eines gleisgebundenen Versatzfahrzeugs von VAA über Richtstrecke, Querschlag in die Einlagerungsstrecke
- Versetzen der Hohlräume um POLLUX mit dem Schleudertruck oder alternativ mit einem gleisgebundenen Versatzfahrzeug
- Rückfahrt Batterielok mit unbeladenem Plateauwagen zum Schacht
- Abkuppeln Plateauwagen
- Aufschieben des unbeladenen Plateauwagens auf den abgesetzten Korbzwischenboden
- Förderung des unbeladenen Plateauwagens nach über Tage

Anhang 2: Betriebsablauf für die Bohrlochlagerung von BSK 3 sowie HAW-, CSD-B- und CSD-C-Kokillen

- Aufschieben des Plateauwagens mit beladenem Transferbehälter auf den abgesetzten Korbzwischenboden, nachdem ein leerer Plateauwagen vom Förderkorb abgeschoben wurde
- Förderung des Plateauwagens nach unter Tage
- Abziehen des Plateauwagens vom Förderkorb, Aufschieben eines leeren Plateauwagens auf den Förderkorb
- Ankuppeln der Batterielok an den Plateauwagen
- Transport des Plateauwagens über Richtstrecke, Querschlag in die Einlagerungsstrecke
- Positionierung des beladenen Plateauwagens unterhalb der Einlagerungsvorrichtung
- Anheben Transferbehälter mit Einlagerungsvorrichtung und Herausfahren Plateauwagen
- Schwenken des Transferbehälters, Aufsetzen Abschirmhaube und Absetzen Transferbehälter auf die Bohrlochsleuse
- Öffnen Transferbehälter oben und Andocken Kokillengreifer an Kokille, Anheben Kokille und Öffnen Bohrlochschieber/Transferbehälter unten sowie Absenken und Absetzen der Kokille im Bohrloch mit Kokillenhubwerk der Einlagerungsvorrichtung
- Hochfahren des Kokillengreifers sowie Schließen Bohrlochschieber/Transferbehälter unten und Transferbehälter oben
- Herausheben Transferbehälter aus Bohrlochsleuse, Schwenken des Transferbehälters
- Hereinfahren Plateauwagen und Positionierung des Plateauwagens unterhalb der Einlagerungsvorrichtung sowie Ablegen des entladenen Transferbehälters auf Plateauwagen
- Rückfahrt Batterielok mit Plateauwagen zum Schacht
- Abkuppeln Plateauwagen
- Aufschieben des Plateauwagens auf den abgesetzten Korbzwischenboden
- Förderung des Plateauwagens nach über Tage
- Transport der mit Salzgrus beladenen Versatzmaschine mit Versatzlok von VAA über Richtstrecke, Querschlag in die Einlagerungsstrecke
- Positionierung der Versatzmaschine unterhalb der Einlagerungsvorrichtung
- Einbringen des Versatzes in das Bohrloch
- Transport der entladenen Versatzmaschine mit Versatzlok zurück zur VAA

Anhang 3: Abschätzung Zeitaufwände für Vor- und Herrichtungsarbeiten

a	Zeitaufwand für Schienenverlegung	SCH
	Aufrüsten	3
	Fräsen Kanäle für Schienenverlegung (ca. 50 m bei 10 m/SCH)	5
	Montage höhen- und seitenverstellbare Schienen- Befestigungseinrichtung (2x85 Stck bei a=0,6 m) (ca. 20 min/Stck)	10
	Verlegen Schienen (ca. 50 m)	6
	Summe	24

Anzahl SCH/AT 3

Zeitaufwand in Wochen 1,60

Zeitaufwand Streckenlagerung (200 m) in Wochen 6,4

Zeitaufwand Bohrlochlagerung (3x50 m) in Wochen 4,8

b	Zeitaufwand für Herstellung Bohrlochkeller	SCH
	Aufrüsten	2
	Lösen/Laden/Haufwerkstransport	22
	Abrüsten	2
	Summe	26

Anzahl SCH/AT 3

Zeitaufwand in Wochen 1,73

Zeitaufwand Bohrlochlagerung (3 BI/Strecke) in Wochen 5,2

c	Zeitaufwand für Einbau Träger für Schienen- Verlagerung und Schienen am Bohrlochkeller	SCH
	Vorbereitung Auflager an beiden Stirnseiten für Querträger	2
	Einbau Querträger	2
	Einbau Längsträger	2
	Montage Schienen auf Träger	2
	Summe	8

Anzahl SCH/AT 3

Zeitaufwand in Wochen 0,53

Zeitaufwand Bohrlochlagerung (3 BI/Strecke) in Wochen 1,6

d

Zeitaufwand für Herstellung Erkundungsbohrung	SCH
Aufbau Erkundungsbohranlage	3
Bohren und Einbau Standrohrpacker 3 m Teufe	3
Montage Bergbaupreventer und Anschluss Spülungsanlage und Entstaubungseinrichtung	2
Erkundungsbohrung 25 m	9
Aufbohren für Ankerrohrtour	4
Einbau und Zementation für Ankerrohrtour	7
Drucktest Ausbruchsicherung einschl. Entfernen der Lauge	1
Bohrarbeiten für den Leak-off Test, (Freibohren Fuß Ankerrohrtour)	1
Leak-off Test einschl. Entfernen der Lauge	2
Erkundungsbohrung, Montage Bohrstrang einschl. Zielbohrereinrichtung, Preventer, Prev.-Schließanlage, Düsenstock	45
Ausbau der Ankerrohrtour, Bohranlage abrüsten, abtransportieren	5
Summe	82

Anzahl SCH/AT 3

Zeitaufwand in Wochen 5,47

Zeitaufwand Bohrlochlagerung (1. Bohrloch) in Wochen 5,5

e

Zeitaufwand für Erweiterung Erkundungsbohrung	SCH
Aufbau der Bohranlage für die Bohrlocherweiterung	3
Kübelbohren D=800 mm für den Standrohrpacker	2
Einbau Standrohrpacker und Bohrlochkopf	2
Aufbau Spülungsanlage und Entstaubungseinrichtung	1
Erweiterungsbohrung, Ein-, Umrüsten des Bohrwerkzeuges und -stranges	21
Demontage Standrohr	1
Bohranlage abrüsten, abtransportieren	2
Summe	32

Anzahl SCH/AT 3

Zeitaufwand in Wochen 2,13

Zeitaufwand Bohrlochlagerung (1. Bohrloch) in Wochen 2,1

f

Zeitaufwand für Herrichtung 1. Betriebspunkt	SCH
Verlegen temporäre Absperrung KB/ÜB	3
Vorbau Sonderbewetterung bis zum nächsten Bohrloch	3
Demontage Bohrlochsleuse am vorherigen Bohrloch	1
Demontage Aufnahmerohr am vorherigen Bohrloch	0,5
Montage Aufnahmerohr am nächsten Bohrloch	0,5
Montage Bohrlochsleuse am nächsten Bohrloch	1
Summe	9

Anzahl SCH/AT 3

Zeitaufwand in Wochen 0,60

Zeitaufwand Bohrlochlagerung (1. Bohrloch) in Wochen 0,6