

**Beschreibung
der generischen
Endlagersysteme
für das Vorhaben BASEL**

**Ergebnisse aus dem
Vorhaben BASEL**

Beschreibung der generischen Endlagersysteme für das Vorhaben BASEL

Ergebnisse aus dem Vorhaben BASEL

Andree Lommerzheim (BGE TEC)
Bernd Förster (GRS)
Niklas Bertrams (BGE TEC)
Dieter Buhmann (GRS)
Philipp Herold (BGE TEC)
Juliane Leonhard (BGE TEC)
Ulrich Noseck (GRS)
Jens Wolf (GRS)

September 2020

Anmerkung:

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) über den Projektträger Karlsruhe (PTKA) unter dem Förderkennzeichen 02E11486 durchgeführt.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der GRS.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung der GRS wieder und muss nicht mit der Meinung des BMWi übereinstimmen.

Deskriptoren

Betriebssicherheit, Endlagerkonzepte, FEP-Tabellen, Maßnahmen, Sicherheitsfunktionen, Tagesanlagen

Kurzfassung

Der Bericht dokumentiert grundlegende Rahmenbedingungen und Teilergebnisse des Vorhabens BASEL. Die Rahmenbedingungen umfassen die Endlagerkonzepte in den potenziellen Wirtsgesteinen Steinsalz, Tongestein und Kristallingestein einschließlich der notwendigen Funktionen von technischen Maßnahmen für die Gewährleistung der Betriebssicherheit. Die Endlagerkonzepte haben generischen Charakter. Die Tagesanlagen eines Endlagerbergwerks werden ebenfalls generisch, d. h. ohne Standortbezug, skizziert. Für die Tagesanlagen und das Endlagerbergwerk werden die Zustände, Ereignisse und Prozesse in der Betriebsphase dokumentiert, interne Einwirkungen (EVI) und externe Einwirkungen (EVA) berücksichtigt sowie deren mögliche Auswirkungen auf die Langzeitentwicklungen und -sicherheit dargelegt (FEP-Tabelle Betriebsphase). Die Zustände, Ereignisse und Prozesse sowie die EVI und EVA erfordern technischen Maßnahmen beim Bau und Betrieb eines Endlagerbergwerks für die Gewährleistung der Betriebssicherheit, die auch Auswirkungen auf die Nachverschlussphase haben können.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Annahmen für das Abfallinventar.....	3
3	Endlagerkonzepte.....	5
3.1	Endlagerkonzepte im Wirtsgestein Tonstein	8
3.1.1	Geologische Rahmenbedingungen.....	9
3.1.2	Bergbauliche Betrachtungen im Tonstein	9
3.1.3	Streckenlagerung von POLLUX®-Behältern im Wirtsgestein Ton	10
3.1.4	Bohrlochlagerung von Brennstabkokillen (BSK).....	18
3.2	Endlagerkonzepte in Salinargesteinen.....	24
3.2.1	Geologische Rahmenbedingungen.....	24
3.2.2	Bergbauliche Betrachtungen in Salinargesteinen.....	25
3.2.3	Streckenlagerung von POLLUX®-Behältern	26
3.2.4	Vertikale Bohrlochlagerung.....	28
3.2.5	Einlagerung von Transport- und Lagerbehältern in horizontalen Kurzbohrlöchern	30
3.2.6	Horizontale Bohrlochlagerung von Brennstabkokillen	33
3.3	Endlagerkonzepte im Kristallin.....	35
3.3.1	Geologische Rahmenbedingungen.....	35
3.3.2	Bergbauliche Betrachtungen im Kristallingestein	36
3.3.3	Varianten der Endlagerkonzepte.....	37
3.3.4	Endlagerbehälter für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle und ausgediente Brennelemente	39
3.3.5	Einlagerungskonzepte	41
3.3.6	Verfüll und Verschlusskonzepte.....	42
3.4	Funktionen der Endlagerkomponenten für die Betriebssicherheit	44
4	Kurzbeschreibung der Tagesanlagen	49
5	Verknüpfung betrieblicher Maßnahmen und Langzeitsicherheit	55

	Literaturverzeichnis.....	65
	Tabellenverzeichnis.....	71
	Abbildungsverzeichnis.....	73
Anlage A	Auswirkungen der Betriebsphase auf die Langzeitsicherheit (FEP-Tabelle Betriebsphase).....	75
A.1	Übergeordnete Faktoren und Tagesanlagen.....	76
A.2	Teilsystem Schächte und Rampen	128
A.3	Teilsystem Grubenbaue außerhalb von Einlagerungsbereichen	179
A.4	Teilsystem Einlagerungsbereiche	232
Anlage B	Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit und Maßnahmen in der Betriebsphase (FEP-Tabelle Nachverschlussphase)	299

1 Einleitung

Die sichere Entsorgung von radioaktiven Abfällen in tiefen geologischen Formationen hat den dauerhaften Schutz des Menschen und der Umwelt vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung und sonstigen schädlichen Wirkungen dieser Abfälle sowie die Vermeidung von unzumutbaren Lasten und Verpflichtungen für zukünftige Generationen zum Ziel. Das Ziel erfordert einen Sicherheitsnachweis, der die Prüfung und Bewertung von Daten, Maßnahmen, Analysen und Argumenten beinhaltet, welche die Sicherheit des Endlagers aufzeigen.

Für ein Endlager von hochradioaktiven¹ Abfällen und ausgedienten Brennelementen werden in nationalen und internationalen Richtlinien Sicherheitsnachweise für die unterschiedlichen Phasen eines Endlagers gefordert /BMU 10/, /BMU 20/², /IAEA 12/. Diese betreffen sowohl die Betriebssicherheit beim Bau und Betrieb eines Endlagerbergwerks als auch die Langzeitsicherheit eines Endlagers nach dem Verschluss des Bergwerks. Es gibt umfangreiche Erfahrungen zum Führen von Sicherheitsnachweisen für Betriebs- und Nachverschlussphase - allerdings praktische Erfahrungen nur für Endlager von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen. Das Zusammenführen aller Analysen und Argumente von möglichen Langzeitentwicklungen des Gesamtsystems in einem Safety Case ist Stand der Wissenschaft und Technik /IAEA 12/, /NEA 13/. Bisher wurde jedoch nur unzureichend beachtet, dass der Verlauf der Betriebsphase des Endlagerbergwerks den Ausgangszustand für die Langzeitentwicklung bestimmt. Demnach besteht einerseits eine starke Abhängigkeit zwischen Betriebsphase und Langzeitsicherheit in der Nachverschlussphase. Andererseits beeinflussen technische Barrieren für die Langzeitsicherheit den Betrieb des Endlagerbergwerks und die Betriebssicherheit – vor allem wenn verfüllte Einlagerungsbereiche abgeworfen werden. Vor dem Hintergrund werden im Vorhaben BASEL Methoden und Werkzeuge entwickelt, die Schnittstellen zwischen Betriebs- und Nachverschlussphase im Safety Case

¹ Im Bericht wird für die ausgedienten Brennelemente und wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle der Begriff „hochradioaktive Abfälle“ verwendet.

² Zum Zeitpunkt der Berichtserstellung lag ein Entwurf der Verordnung über Sicherheitsanforderungen und vorläufige Sicherheitsuntersuchungen für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle vom 6. April 2020 vor. Dieser Entwurf wird in diesem Bericht auch berücksichtigt, aber größtenteils beziehen sich die Aussagen auf die Sicherheitsanforderungen des BMU aus dem Jahr 2010. Hinsichtlich der grundlegenden Vorgehensweise bei den Sicherheitsanalysen ergibt sich kein Unterschied zwischen den Verordnungen. Wichtige geänderte Anforderungen werden im Bericht erläutert. Der Bundestag hat am 16.09.2020 der Verordnung über die Anforderungen an die Sicherheit eines künftigen Endlagers für hochradioaktive Abfälle zugestimmt.

zu analysieren sowie Wechselwirkungen zwischen der Betriebs- und Langzeitsicherheit festzustellen. Letzteres erfolgt mit dem Ziel, Beeinträchtigungen der Sicherheit zu minimieren.

Der vorliegende Bericht ist Teil der Ergebnisdokumentation des Vorhabens BASEL. Er enthält die Beschreibung

- der generischen Endlagerkonzepte für die potenziellen Wirtsgesteine Steinsalz, Tongestein und Kristallingestein,
- der Abfallinventare,
- der Tagesanlagen,
- die FEP-Tabelle für die Betriebsphase, einschließlich möglicher Auswirkungen der FEP auf die Langzeitentwicklung und -sicherheit,
- der technischen Maßnahmen einschließlich ihrer Funktionen für die Gewährleistung der Betriebssicherheit,
- die FEP-Tabelle für die Nachverschlussphase, einschließlich möglicher Einwirkungen der FEP auf technische Maßnahmen beim Bau und Betrieb eines Endlagerbergwerks für die Gewährleistung der Betriebssicherheit.

2 Annahmen für das Abfallinventar

Die Auslegung des Endlagers sowie dessen Betrieb und Verschluss werden maßgeblich vom Inventar an radioaktiven Abfällen und ausgedienten Brennelementen sowie den Endlagergebinden und –behältern, die bei der Endlagerung der Abfälle verwendet werden, bestimmt.

Im Endlager für hochradioaktive Abfälle sind neben ausgedienten Brennelementen der Leistungs- und Forschungsreaktoren sowie Versuchs- und Prototyp-Kernkraftwerken auch radioaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung von Brennelementen zu berücksichtigen. Das angenommene Abfallmengengerüst ist in Tab. 2.1 dargestellt.

Tab. 2.1 Ableitung von Maßnahmen für den Bau und Betrieb eines Endlagers aus den Anforderungen der Langzeitsicherheit

Abfallstrom	Herkunft		Anzahl	t _{SM}
Brennelemente aus Leistungsreaktoren	DWR	UO ₂	12.450	6415
		MOX	1.530	765
	SWR	UO ₂	14.350	2465
		MOX	1.250	220
	WWER	UO ₂	5.050	580
Gesamt	-	-	10.455	
Abfälle aus der Wiederaufarbeitung	CSD-V	AREVA NC (F)	3.024	-
		Sellafield Ltd. (UK)	565	-
		VEK (D)	140	-
	CSD-B	AREVA NC (F)	140	-
	CSD-C	AREVA NC (F)	4.104	-
Gesamt	-	7.973	-	
Brennelemente aus Versuchs- bzw. Prototyp-Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren	AVR		ca. 290.000 BE-Kugeln	
	THTR 300		ca. 620.000 BE-Kugeln	-
	KNK II		2484 Brennstäbe	-
	Otto-Hahn		52 Brennstäbe	-
	FRM II		150 BE	-
	BER II		120 BE	-
	FRMZ		89 BE	-
	RFR		950 BE	-

Das Abfallmengengerüst wird für die generischen Endlagerungskonzepte auf die Endlagerbehälter verteilt, siehe Kapitel 3.

In der Streckenlagerung von Abfallgebinden werden im Wesentlichen Endlagerbehälter vom Typ POLLUX® für ausgediente Brennelemente (BE) von Leistungsreaktoren und Wiederaufarbeitungsabfälle sowie in der Bohrlochlagerung verschiedene Brennstabkokillen für alle Gebinde veranschlagt. Die Behälter und Kokillen wurden für die

Endlagerung in Salzgesteinen konzipiert und ausgelegt /GRS 11/. Die Transport- und Lagerbehälter (TLB) für ausgediente BE von Leistungs- und Forschungsreaktoren und für Abfälle aus der Wiederaufbereitung, der Gussbehälter Typ II und der MOSAIK®-Behälter für Strukturteile aus der BE-Konditionierung wurde für die Anwendungen in einem Endlager wärmeentwickelnder Abfälle und ausgedienter Brennelemente noch nicht geprüft /TEC 15/, /TEC 15b/.

Für das Vorhaben BASEL wird angenommen, dass POLLUX®-Behälter und Brennstabkokillen für die Endlagerung in anderen Wirtsgesteinen geeignet sind sowie die TLB und die MOSAIK®-Behälter eine angemessene Annäherung an mögliche Endlagerbehälter darstellen.

3 Endlagerkonzepte

Für das Vorhaben BASEL wurden verschiedene generische Endlagerkonzepte in den Wirtsgesteinen Steinsalz, Tongestein und Kristallingestein einbezogen. Mit dieser umfassenden Berücksichtigung mehrerer Konzepte in allen Wirtsgesteinen sollen einer Vorfestlegung oder Bevorzugung eines Wirtsgesteins und eines technischen Konzepts entgegengewirkt und alle gleichrangig betrachtet werden. In jedem Wirtsgestein sind eine Vielzahl von Endlagerkonzepten denk- und umsetzbar und die Möglichkeit der Kombinationen technischer und geotechnischer Barrieren bei einer Verwendung von unterschiedlichen Materialien umfangreich. Im Vorhaben BASEL wurden ausgewählte generische Endlagerkonzepte zu Grunde gelegt, welche in folgenden FuE-Vorhaben entwickelt wurden:

- VSG /GRS 11/, /GRS 12/
- KOSINA /TEC 18/,
- ANSICHT /TEC 15/, /TEC 15b/ und
- KONEKD /TEC 17b/

Alle generischen Endlagerkonzepte enthalten Tagesanlagen, Schächte bzw. Rampen, Grubenräume außerhalb der Einlagerungsbereiche einschließlich der Infrastrukturräume, Richtstrecken zum Erschließen der Einlagerungsfelder, Einlagerungsbereiche mit Querschlägen zwischen den Richtstrecken und – je nach Konzept – mit Bohrlöchern und Bohrlochbeschickungsstrecken oder Einlagerungsstrecken bzw. Einlagerungskammern (für MOSAIK-Behälter).

Die Beschreibung der **Tagesanlagen** orientiert sich an /TEC 19/. Die Tagesanlagen umfassen alle Einrichtungen über Tage, die für den Betrieb des untertägigen Endlagers erforderlich sind. Diese Kurzbeschreibung konzentriert sich auf die kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen für Bewetterung und Brandschutz, die für den Einlagerungsbetrieb erforderlich sind. Die weiteren Anlagen entsprechen denen eines konventionellen Bergwerks und werden nur kurz erwähnt. Entsprechend den gesetzlichen Vorschriften und Normen sowie den Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle /BMU 10/ werden die Auslegungsanforderungen für Gebäude und Anlagen der Tagesanlagen des Endlagers formuliert. Dabei werden die Schutzziele des Atomgesetzes (AtG), der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und des Bundesberggesetz (BBergG) mit einschlägigen Verordnungen für die Auslegung der Gebäude und Anlagen, die für den Einlagerungsbetrieb benötigt

werden, beachtet. Die wesentlichen Funktionen der kerntechnischen Tagesanlagen sind Annahme, Umladung, Pufferung und Transport der Endlagergebinde und Transferbehälter zum Schacht bzw. zur Rampe. Wichtige Einrichtungen sind die Umschlagsanlage für Endlagerbehälter, die Schachtförderanlage und die Schachthalle.

Als Zugang zum untertägigen Endlagerbergwerk dienen **Schächte oder Rampen**. Rampen sind grundsätzlich in allen Wirtsgesteinen möglich, finden in den generischen Endlagerkonzepten aufgrund der Teufenlagen derzeit nur im Kristallingestein Berücksichtigung. Schächte und Rampen werden abhängig von der gebirgsmechanischen Situation zur Sicherstellung ihrer Standfestigkeit ausgebaut. Der Ausbau kann aus mehreren Komponenten und Materialien bestehen, z. B. aus Stahl und Beton. Im Steinsalz und Kristallingestein kann bei günstigen gebirgsmechanischen Verhältnissen auf Ausbau im Wirtsgestein verzichtet werden; im Nebengebirge wird jedoch i.d.R. ausgebaut. Im Tongestein werden die Schächte zumeist vollständig ausgebaut. Die Schächte enthalten die Fördertechnik, z. B. Spurlatten, Einstriche und Konsolen, die Rampen enthalten Seilbahnen, Gleise und Gleisbetten. Weiterhin sind Versorgungs- und Entsorgungsleitungen für Kraftstoffe, Strom, Druckluft, Kommunikationstechnik und Wasser, nach unter Tage vorhanden. Der Schachtsumpf und das Rampenende enthalten Sicherheitsvorrichtungen für die Förderanlagen sowie u. U. für die Wasserhaltung oder Seilspannvorrichtung.

Unter Tage schließen sich Füllörter der Schächte bzw. Rampen an die **Infrastrukturbereiche** an. Diese umfassen die Grubenbaue, die funktional der Erstellung und Erhaltung des Endlagerbergwerks zuzuordnen sind /TEC 19/:

- Werkstätten, Magazine und Schmierstofflager,
- Aufenthaltsräume,
- Bereiche für Dosisleistungsmessungen,
- Dekontaminationsbereiche,
- Abstellplätze für die gleislosen und/oder gleisgebundenen Fahrzeuge,
- Batterieladeräume,
- Rangiergleise für die Zusammenstellung von Einlagerungszügen,
- Elektrische Versorgungsräume (Trafoanlagen),
- Markscheiderei.

Von den Infrastrukturbereichen aus erschließen Richtstrecken die Einlagerungsbereiche. Diese Richtstrecken unterscheiden sich in ihrer Funktionen: sie dienen entweder

den bergbaulichen Aktivitäten (Überwachungsbereich) oder dem Transport der Abfallgebilde zum Einlagerungsort (Kontrollbereich). Die Einlagerungsbereiche können weitere Grubenbaue abhängig vom jeweiligen Einlagerungskonzept aufweisen:

- Querschläge zur Verbindung der Einlagerungs-/Bohrlochbeschickungsstrecken mit den Richtstrecken
- Einlagerungsstrecken bei Streckenlagerung,
- Bohrlochüberfahrungsstrecken mit vertikalen Bohrlöchern bei vertikaler Bohrlochlagerung,
- Bohrlochbeschickungsstrecken mit horizontalen Bohrlöchern bei horizontaler Bohrlochlagerung,
- Zugangsstrecken mit Nischen und horizontalen Kurzbohrlöchern bei direkter Endlagerung der TLB.

Abb. 3.0 zeigt exemplarisch den Aufbau des Grubengebäudes für die verschiedenen generischen Endlagerkonzepte, die im Vorhaben BASEL Anwendung finden:

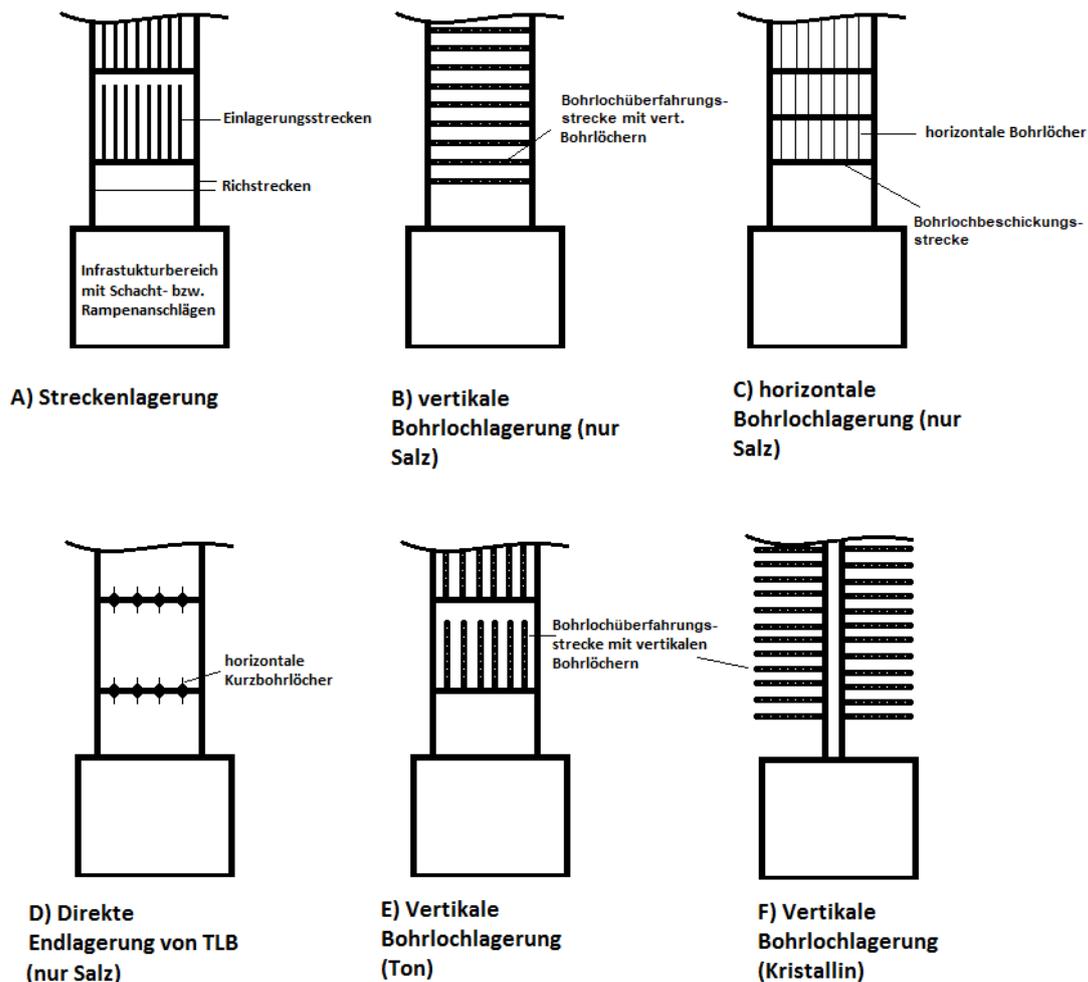


Abb. 3.0 Prinzipskizze für das Grubengebäude der Endlagerkonzepte

3.1 Endlagerkonzepte im Wirtsgestein Tonstein

Im Vorhaben „Gegenüberstellung von Endlagerkonzepten im Salz und Tongestein (GEIST)“ /TEC 04/ wurde erstmals die Einlagerung in Strecken und vertikalen Bohrlöchern im Tongestein umgesetzt. Im Vorhaben „Referenzkonzept für ein Endlager für radioaktive Abfälle in Tonstein (ERATO)“ /TEC 10b/ wurden für die Streckenlagerung und die Bohrlochlagerung unterschiedliche Einlagerungskonzepte gegenüber gestellt und ein Referenzkonzept je Einlagerungsvariante erarbeitet. Im Vorhaben „Methodik und Anwendungsbezug eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes für ein HAW-Endlager in Tonstein (ANSICHT)“ /TEC 15/, /TEC 15b/ wurden die Referenzkonzepte im Hinblick auf die Langzeitsicherheit überarbeitet. Die nachfolgende Darstellung der Endlagerkonzepte fasst demnach Aspekte der verschiedenen Forschungsvorhaben zusammen. Die Beschreibungen erfolgen weitgehend qualitativ und benennen keine Auslegungsparameter, wie die Auslegungstemperatur, Behälterbeladung u. ä. Dieses Vorgehen zielt darauf ab, unabhängig von solchen Festlegungen zu bleiben.

3.1.1 Geologische Rahmenbedingungen

Prinzipiell gehören Tongesteine aufgrund des hohen Sorptionsvermögens für Radionuklide, der geringen hydraulischen Leitfähigkeit sowie der plastischen Verformbarkeit zu den potenziellen Wirtsgesteinen für die Endlagerung radioaktiver Abfälle. Weniger günstig sind die geringe Wärmeleitfähigkeit und die geringe gebirgsmechanische Stabilität des Tongesteins. Untersuchungen zur Eignung von Tonformationen für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle finden in Frankreich (Callovo-Oxfordium-Ton), der Schweiz (Opalinus-Ton) und Belgien (Boom-Clay) statt.

In Deutschland ist der Kenntnisstand über geeignete Tonformationen relativ gering. Im Projekt ANSICHT /TEC 17/ wurden Sicherheits- und Sicherheitsnachweiskonzepte für deutsche Tonformationen auf generischer Basis (Referenzregionen Süd und Nord) abgeleitet. Für ANSICHT SÜD wurde der 120 bis 130 m mächtige Opalinus-Ton als potenzielles Wirtsgestein identifiziert und für die Charakterisierung auf Daten des Schweizer Endlagerprojekts zurückgegriffen. Für ANSICHT NORD wurden die über 300 m mächtigen Tone des Hauterive und des Barreme (Unterkreide) als potenzielle Wirtsgesteine ausgewählt. Die Charakterisierung erfolgt durch die Unterkreidetone im Deckgebirge der Standorte KONRAD und BURE (Frankreich). Die Tonformation für ANSICHT NORD befindet sich in Teufen zwischen 600 m und 800 m, die Klüfte und Störungen in der Formation sind aufgrund der plastischen Eigenschaften dieser Tone geschlossen und weisen nur eine geringe hydraulische Leitfähigkeit auf. Die Gebirgslösungen in Norddeutschland (ANSICHT NORD) weisen eine höhere Salinität als in Süddeutschland (ANSICHT SÜD) auf.

3.1.2 Bergbauliche Betrachtungen im Tonstein

Bergbau zur Gewinnung von Tonen findet im Allgemeinen im Tagebau und nicht im Tiefbau statt, weshalb Erfahrungen zum Erschließen und Betrieb eines Bergwerks im Tonstein kaum vorhanden sind. In ERATO /TEC 10b/ durchgeführte Untersuchungen zeigen, dass Tonstein ungünstige gebirgsmechanische Eigenschaften aufweist, welche einen tragenden Ausbau in allen Grubenräumen notwendig erscheinen lassen.

Diese Einschätzung wird durch betriebliche Erfahrungen auf der Schachtanlage KONRAD und in Untertagelaboren, wie BURE, bestätigt.

Das Auffahren der Grubenräume eines Endlagers im Tonstein kann durch Schneiden oder durch Bohren und Sprengen erfolgen. Die Auswahl der Vortriebstechnik hängt von vielen Parametern ab und erfordert sowohl Standortkenntnisse als auch betriebliche Planungen. Für das Vorhaben BASEL wird der Vortrieb mit Teilschnittmaschinen als Referenzvariante gewählt, da dieser voraussichtlich Vorteile in Bezug auf die Vortriebs- und Ausbaugeschwindigkeit sowie die Reduzierung der Auflockerungszonen in der Kontur der Grubenbaue bietet.

Wie bereits erwähnt, ist im Tonstein ein tragender Ausbau grundsätzlich notwendig. Eine Auslegung des Ausbaus unter Berücksichtigung der gegenwärtig gültigen Anforderungen in einem Endlagerbergwerk ist Gegenstand des laufenden FuE-Vorhabens AGEnT. Als Arbeitshypothese wird ein Verbundausbau mit Gebirgsankern, Spritzbeton und Betoninnenschale angenommen.

In ERATO /TEC 10b/ wird dargelegt, dass zur Erstellung von Einlagerungsbohrlöchern auf den Stand der Technik in der Bohrtechnik zurückgegriffen werden kann. Jedoch ist eine konstruktive Anpassung notwendig. Einer pneumatischen Abförderung des Bohrkleins aus dem Bohrloch wird gegenüber einer hydraulischen Abförderung bevorzugt, um die Vorhaltung und Aufbereitung der Bohrspülung zu vermeiden. Die Machbarkeit dieses Vorgehens ist noch zu prüfen.

3.1.3 Streckenlagerung von POLLUX®-Behältern im Wirtsgestein Ton

Die Streckenlagerung von POLLUX®-Behältern in ANSICHT SÜD wird als Referenzkonzept betrachtet /TEC 15b/.

Abfallgebinde

Für die Streckenlagerung von wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen und ausgedienten Brennelementen im Tonstein wird hier vor allem der für die Endlagerung im Salz ausgelegte Endlagerbehälter POLLUX® vorgesehen, siehe Abb. 3.2. Für die unterschiedlichen Abfallarten werden die folgenden Endlagerbehälter betrachtet:

- Endlagerbehälter Typ POLLUX® für ausgediente Brennelemente,

- Endlagerbehälter Typ POLLUX® für HAW-Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (CSD-V),
- Endlagerbehälter Typ POLLUX®-9 für schwach wärmeentwickelnde, LAW- und MAW-Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (CSD-C, CSD-B),
- MOSAIK®-Behälter für Strukturteile aus der Brennelement-Konditionierung,
- Transport- und Lagerbehälter (TLB) für die ausgedienten Brennelemente aus Versuchs- und Prototyp-Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren.

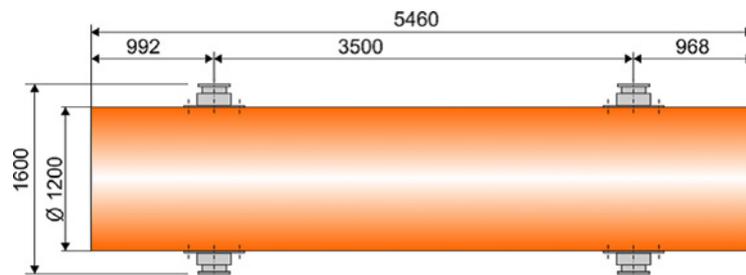


Abb. 3.1 Schematische Darstellung eines Endlagerbehälters vom Typ POLLUX® zur Aufnahme von Brennstäben, aus /TEC 15b/

Einlagerungskonzept

In diesem Konzept findet die Einlagerung der Abfallgebinde in Einlagerungsstrecken statt. Diese besitzen nur einen Zugang zum übrigen Grubengebäude über den sie mit Abfallgebinden beladen werden. Das Konzept für ausgediente Brennelemente und Wiederaufarbeitungsabfälle sieht vor, zur Vorbereitung der Behältereinlagerung an den Einlagerungspositionen in einer Einlagerungsstrecke Auflager aus hochverdichteten Bentonitelementen zu errichten. Die Abfallgebinde werden mit Plateauwagen auf Schienen angeliefert, mit einer Einlagerungsvorrichtung von den Plateauwagen abgehoben und auf den Auflagern in den Einlagerungsstrecken abgelegt, siehe Abb. 3.3. Anschließend wird der Resthohlraum der Einlagerungsstrecke um den Behälter mit vorgepresstem Buffer-Granulat verfüllt, siehe Abb. 3.4 und Abb. 3.5.



Abb. 3.2 Einlagerungsvorrichtung für die Streckenlagerung von POLLUX®-Behältern, aus /GRS 11/

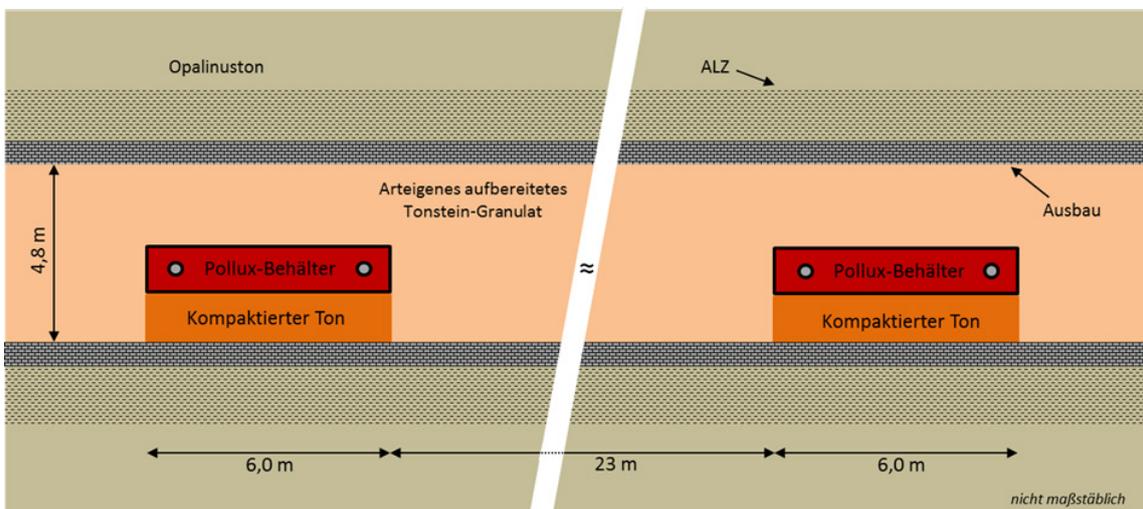


Abb. 3.3 Schematische Darstellung des Streckenlagerungskonzeptes für POLLUX®-Behälter, Längsschnitt durch eine Einlagerungsstrecke, aus /TEC 15b/

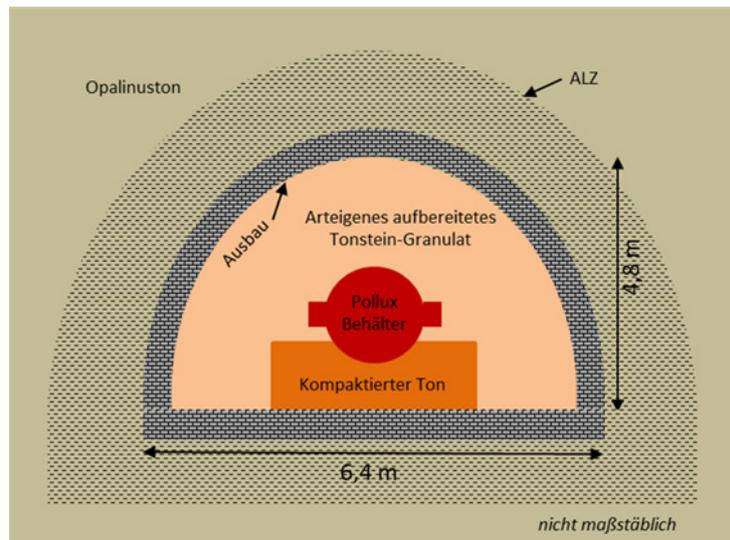


Abb. 3.4 Schematische Darstellung des Streckenlagerungskonzeptes für POLLUX®-Behälter, Querschnitt durch eine Einlagerungsstrecke, aus /TEC 15b/

Die MOSAIK®-Behälter werden mit Plateauwagen auf Schienen angeliefert und mit Gabelstapler übereinander in einer Kammer gestapelt. Die Einlagerungskammer wird in Abschnitte unterteilt: Nach zwanzig Lagen mit MOSAIK®-Behältern wird eine Mauer errichtet und der Abschnitt der Einlagerungskammer komplett mit Beton verfüllt.

Verfüll- und Verschlusskonzept

Bei Endlagern im Tongestein wird der langzeitige Einschluss des radioaktiven Inventars in erster Linie durch das Wirtsgestein sichergestellt. Bis die Resthohlräume im Grubengebäude durch die Konvergenz, die Korrosion des Ausbaus und das Quellen des Versatzes vollständig verschlossen sind, übernehmen geotechnische Barrieren die Dichtfunktion und verschließen Wegsamkeiten in den Hohlräumen.

In den Sicherheitsanforderungen /BMU 10/ wird gefordert, das Barrierensystem mittels Redundanz und Diversität zu optimieren, so dass der Ausfall einzelner Barrieren zu verkraften wäre. Das Barrierensystem schließt zwar generell Behälter und Abfallmatrix mit ein, aber im Vorhaben ANSICHT wird ein Langzeitsicherheitskonzept zu Grunde gelegt, dass weder die Endlagerbehälter noch die Abfallmatrix als sicherheitsrelevante technische Barriere betrachtet /TEC 15b/. Allein die geotechnischen Barrieren sind langzeitrelevant; es bestehen folgende Komponenten:

- Buffer in den Einlagerungsstrecken,

- Versatz in Querschlägen und Richtstrecken (langfristige Barrierenfunktion),
- einfache Streckenverschlüsse in den Querschlägen am Übergang zu den Richtstrecken,
- doppelte Streckenverschlüsse in den Richtstrecken an der Grenze zum Infrastrukturbereich,
- Schachtverschlüsse.

Übertägige Erkundungsbohrungen können Wegsamkeiten zwischen Biosphäre bzw. Gebirgsbereichen mit erhöhter hydraulischer Leitfähigkeit (z. B. sandige oder klüftige Gesteine) und den Einlagerungssohlen im Grubengebäude bilden. Daher sind diese qualitätsgesichert und langzeitstabil zu verschließen. Abb. 3.6 zeigt eine Skizze des Verschlussystems mittels geotechnischer Barrieren basierend auf dem oben beschriebenen Grubengebäude.

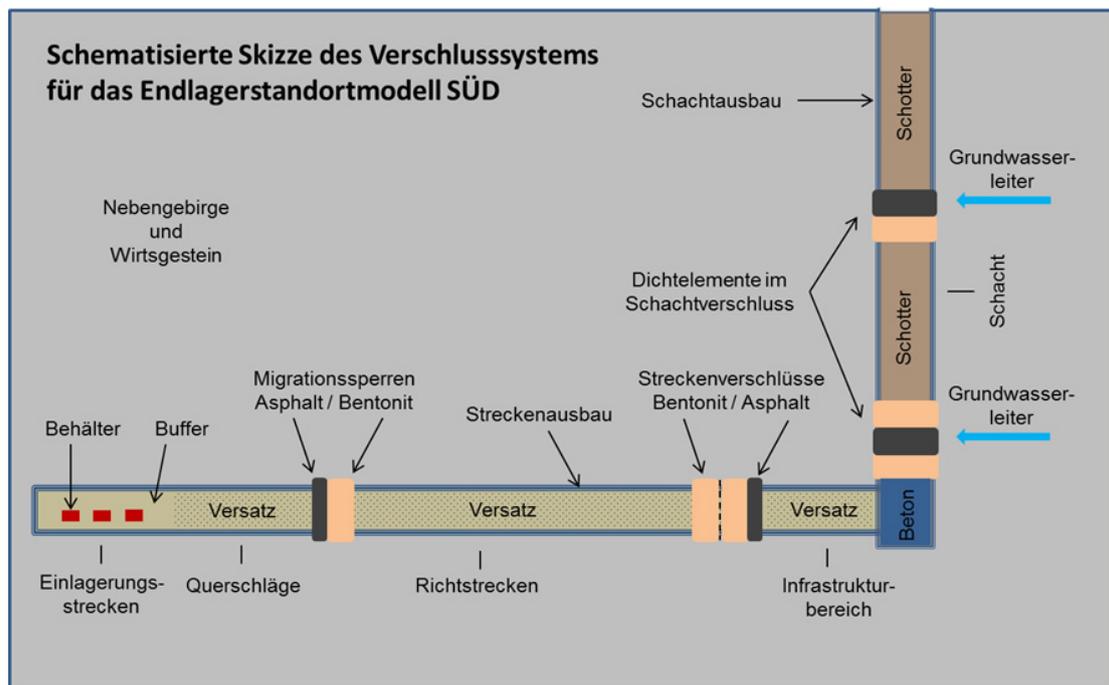


Abb. 3.5 Schematische Prinzipskizze des Verschlussystems, aus /TEC 15b/

Die verbleibenden Hohlräume in den Einlagerungsstrecken werden nach Ablage der Behälter mit dem Buffer verfüllt, der Lösungsbewegungen zu und von den Behältern verzögert und eine Rückhaltefunktion gegenüber Radionukliden besitzt. Der Zugang zu den Einlagerungsstrecken über die Querschläge wird mit Versatz verfüllt. Aufgrund des verbleibenden Ausbaus übernimmt der Versatz erst langfristig eine Dichtfunktion, da

über den Ausbau ein Fließweg gebildet werden kann. Im Folgenden werden Funktion und technisches Design der geotechnischen Barrieren näher erläutert.

Buffer

Der Hohlraum, der bei der Streckenlagerung zwischen dem Behälter und dem Wirtsgestein verbleibt, wird mit einem Buffer aus Ton mit ausreichender Quellfähigkeit aufgefüllt. Dieser Buffer setzt sich zum einen aus hochverdichteten Formsteinen zur Ablage der Behälter und zum anderen aus vorgepresstem Granulat zusammen, das in den Resthohlraum eingebracht wird. Der Buffer soll eine Rückhaltewirkung gegenüber Radionukliden besitzen. Das ist in der frühen Nachverschlussphase von Bedeutung, um im Fall defekter Behälter für eine Rückhaltung von Radionukliden zu sorgen. Des Weiteren soll der Buffer einen Stützdruck gegenüber dem auflaufenden Gebirge aufbauen, um die Auflockerung des Gebirges zu begrenzen.

Einfacher Streckenverschluss (Migrationssperren)

Unmittelbar nach der Verfüllung der Einlagerungsfelder werden Abdichtungen der Querschläge vor dem Anschlag der Richtstrecken durch einfache Streckenverschlüsse errichtet. Sie bestehen aus einem Bentonitdichtelement, einer Asphaltichtung und den Beton-Widerlagern. Die Aufgabe der Verschlüsse ist es, eine Barriere für migrierende Fluide in der frühen Nachverschlussphase zu bilden. Dadurch soll die Migration von ggf. kontaminierten Lösungen und Gasen aus dem Einlagerungsbereich entlang von Firstspalt und Auflockerungszone minimiert werden. Die Migrationssperren sollen im Fall unerkannter Defekte von eingelagerten Behältern den Transport von Radionukliden verzögern. Die einfachen Streckenverschlüsse geben durch die sofort wirksame Asphalt-Abdichtung den doppelten Streckenverschlüssen am Infrastrukturbereich (s. u.) hinreichend Zeit, ihre Dichtwirkung zu erlangen.

Doppelte Streckenverschlüsse

Die Streckenverschlüsse werden an der Grenze zum Infrastrukturbereich in allen Richtstrecken errichtet und haben einerseits die Aufgabe, die Ausbreitung von Lösung – die über die Schachtverschlüsse vordringen könnte – in die Richtstrecken zu verhindern, bis der Versatz in den Richtstrecken lösungsgesättigt ist. Dann ist das hydraulische Druckregime ausgeglichen, d. h., es existiert kein hydraulischer Gradient mehr, der eine Lösungsbewegung in Richtung der Einlagerungsfelder auslösen könnte.

Eine Veränderung der hydrochemischen Verhältnisse in den Einlagerungsbereichen durch eindringende Wässer aus den Deckgebirgsformationen wird somit vermieden. Daher müssen diese Streckenverschlüsse schachtseitig eine frühe Dichtwirkung entfalten. Andererseits sollen die Streckenverschlüsse eine Ausbreitung kontaminierter Fluide aus den Einlagerungsbereichen verzögern. Fluidströme können durch Wärme der Abfälle (Konvektion) und Gasbildung erzeugt werden. Einlagerungsseitig ist eine sofortige Dichtwirkung nicht erforderlich, da eine solche Abdichtung der Einlagerungsbereiche durch die Migrationssperren erfolgt.

Die Aufsättigung des einlagerungsseitigen Widerlagers und des anschließenden Versatzes in den Strecken sowie die Aufsättigung und das Quellen der Dichtelemente in den Streckenverschlüssen wird sich beschleunigen, da dann die Lösungszufuhr nicht nur über den Gebirgskontakt erfolgt sondern auch über die einlagerungsseitige Stirnfläche.

Das Konzept der doppelten Streckenverschlüsse in Abb. 3.7 orientiert sich prinzipiell an /AND 05/. Demnach bestehen die Streckenverschlüsse aus Bentonit-Dichtelementen und Beton-Widerlagern zur Lagestabilisierung. Zur Abdichtung der Auflockerungszone werden Schlitze in der Grubenraumkontur erzeugt und mit Bentonit verfüllt. Voraussetzung für einen Streckenverschluss ist das Entfernen aller Einbauten (Schienen, Fahrbahnen, Leitungen), des Streckenausbaus und der Streckenkontur zur Reduzierung der Auflockerungszone. Die Dimensionierung der Verschlüsse muss auf standortspezifischen Auslegungen bzw. ingenieurtechnischen Bemessungen basieren. In Abb. 3.7 werden exemplarische Abmessungen angegeben.

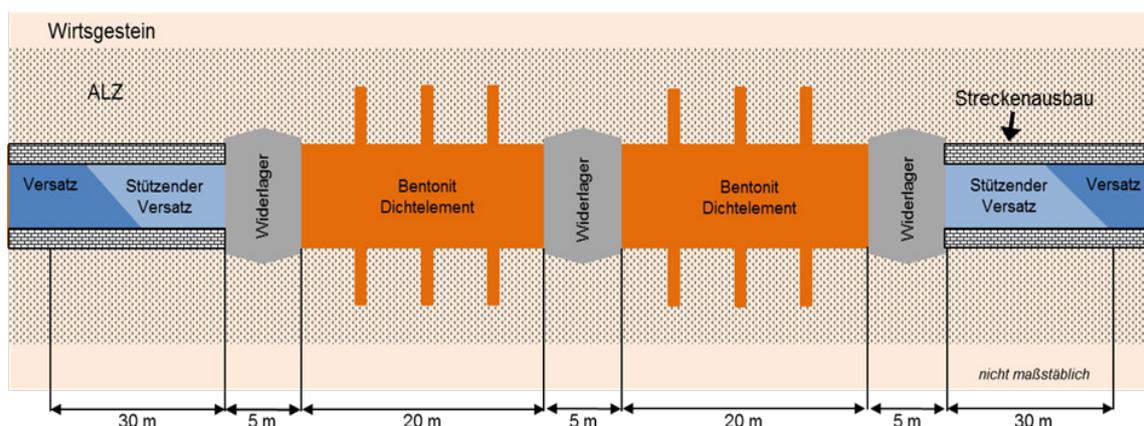


Abb. 3.6 Konzeptioneller Entwurf eines Streckenverschlusses, aus /TEC 15/

Versatz

Der Versatz besteht aus Tonmaterialien mit ausreichender Quellfähigkeit. Er hat zwei wesentliche Aufgaben: In den Querschlägen und Richtstrecken soll ein Stützdruck gegen das auflaufende Gebirge aufgebaut werden. Der Stützdruck entsteht durch den Quelldruck des Materials im Verlauf der Aufsättigung und muss spätestens dann vorliegen, wenn nicht entfernter Ausbau korrosionsbedingt versagt, um eine Ausweitung der Auflockerungszone zu vermindern. Durch den Quelldruck und die Kompaktion des Versatzes sollen die Strecken zudem langfristig abgedichtet werden. Der Zeitraum für Kompaktion, Aufsättigung und Quelldruckentwicklung des Versatzes wird in aktuellen Abschätzungen mit einigen hundert bis wenigen tausend Jahren angegeben /TEC 17/.

Im Nahbereich der Schächte sind Infrastrukturräume (ca. 230.000 m³, vgl. /GRS 11/) angeordnet, welche nach der Nutzung verfüllt werden. Im Hinblick auf die Entwicklung des Endlagersystems soll der Infrastrukturbereich in der Nachverschlussphase als Speicher für Gas und Lösung genutzt und hierfür mit nicht kompaktierbarem Versatz (Schotter) verfüllt werden /TEC 17/. Dieser Speicher verzögert den Beginn des Druckaufbaus am unteren Dichtelement im Schacht um 200 bis 300 Jahre, wohingegen die Aufsättigung des Versatzes und die Druckentwicklung in den Einlagerungsfeldern nur geringfügig bzw. vernachlässigbar beeinflusst werden. Schon die Verzögerung des Druckaufbaus am Schachtverschluss erscheint ein ausreichender Grund für ein solches Speichervolumen, denn es gibt den Bentonit-Dichtelementen genügend Zeit zur Aufsättigung und zur Einstellung der Abdichtfunktion.

Schachtverschlüsse

Schachtverschlüsse verschließen potentielle Wegsamkeiten zwischen der Biosphäre und dem Endlager und haben eine besondere sicherheitstechnische Bedeutung. Das Endlagerbergwerk soll über zwei Schächte verfügen, welche nach dem Einlagerungsbetrieb abgedichtet werden. Das Design der Schachtverschlüsse leitet sich aus den standortspezifischen Verhältnissen im Wirtsgestein und Nebengebirge ab. Das vorläufige Verschlusskonzept und das Referenzprofil gemäß ANSICHT SÜD /TEC 15b/ ist in Abb. 3.8 dargestellt. Die Verschlüsse bestehen aus Bentonit-Dichtelementen, Bitumen-Schotter-Säulen, Beton-Widerlagern und Verfüllmaterial (Ausbruch).

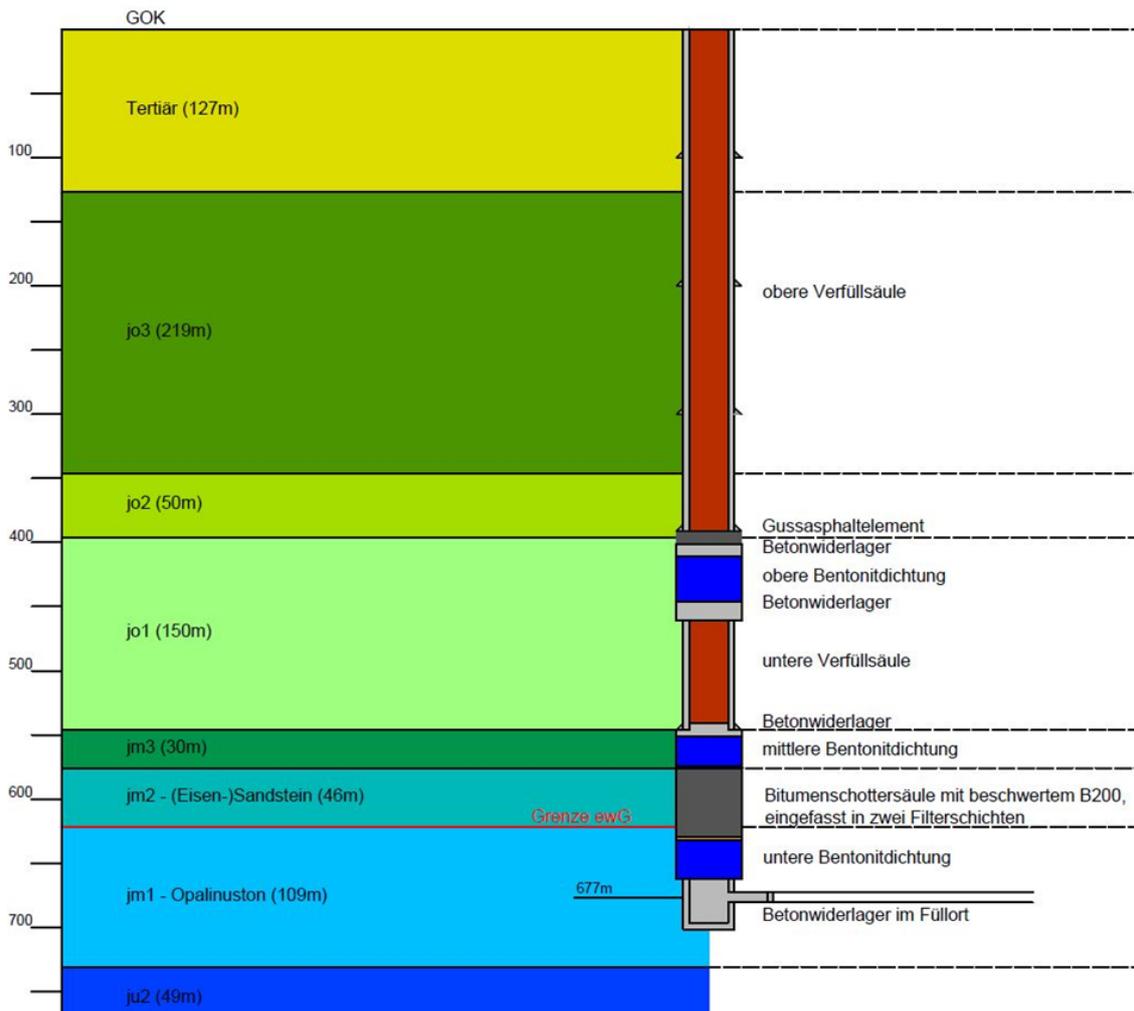


Abb. 3.7 Schachtverschlusskonzept für das Referenzprofil ANSICHT SÜD, aus /TEC 15b/

3.1.4 Bohrlochlagerung von Brennstabkokillen (BSK)

Die Bohrlochlagerung in kurzen Vertikalbohrungen gemäß ANSICHT NORD wird als Referenzkonzept betrachtet /TEC 15/.

Abfallgebinde

Für die vertikale Bohrlochlagerung im Tongestein ist eine rückholbare Kokille vorgesehen. Abb. 3.9 zeigt die Abmessungen der rückholbaren Brennstabkokille. Für die unterschiedlichen Abfallarten werden die folgenden Endlagerbehälter betrachtet:

- Rückholbare Brennstabkokillen (BSK-R) für ausgediente Brennelemente,
- Rückholbare Kokillen für HAW-Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (CSD-V),

- Rückholbare Kokillen für schwach wärmeentwickelnde LAW- und MAW-Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (CSD-C, CSD-B),
- MOSAIK®-Behälter für Strukturteile aus der Brennelement-Konditionierung (Streckenlagerung),
- CASTOR-Behälter für ausgediente Brennelemente aus Versuchs- und Prototyp-Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren (Streckenlagerung).

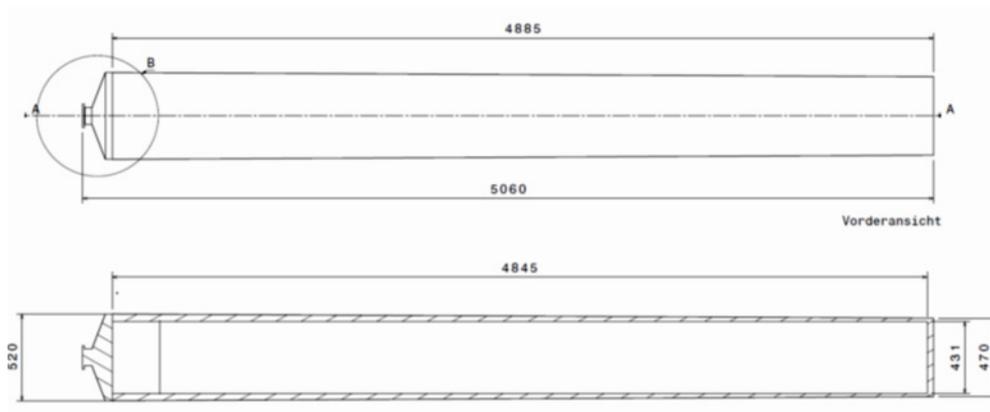


Abb. 3.8 Abmessungen einer rückholbaren Brennstabkokille, aus /GRS 11/

Einlagerungskonzept

Die Einlagerungsbohrlöcher haben eine Tiefe von ca. 30 m. In jedes Einlagerungsbohrloch werden drei Kokillen eingelagert. Für den Einlagerungsvorgang wird wegen der Einlagerungsmaschine und Handhabung oberhalb des Einlagerungsbohrlochs ein Bohrlochkeller in der Sohle erstellt /TEC 15/. Die Einlagerungsbohrlöcher für Wärme entwickelnde Abfälle werden bis zur Beladung durch einen Außenliner stabilisiert. Die Wandstärke des Außenliners ist für standortspezifische Spannungsverhältnisse aus thermomechanischen Auslegungsrechnungen abzuleiten, dabei sind Anisotropien der Gebirgsspannungen zu berücksichtigen.

Das Einbringen der Kokillen in die Bohrlöcher kann beginnen, sobald der Außenliner lagestabil ist. Das ist spätestens der Fall, wenn das Gebirge auf den Außenliner aufge-
 laufen ist. Das Bohrloch wird nach oben hin mit einer Bohrlochschleuse versehen. Die Kokillen werden in Transferbehältern am Bohrloch angeliefert und mit einem Plateauwagen eingefahren. Zum Entladen der Brennstabkokillen wird der Transferbehälter kopfseitig geöffnet, die Kokillen in der endgültigen Lagerposition abgesetzt und der Transferbehälter dem Plateauwagen zurückgegeben. Der Einlagerungsvorgang ist detailliert in /TEC 15/ dargelegt. Bei der Einlagerung werden im Wechsel rieselfähiger

Sand und Kokillen in den Liner eingebracht, um die Kokillen – falls erforderlich – auf einfache Weise wieder aus dem Innenliner ziehen bzw. rückholen zu können. Die Bohrlochschleuse gewährleistet den Strahlenschutz. Nach Beladung des Bohrlochs wird die Bohrlochschleuse demontiert, der Liner etwa 10 m unter der Streckensohle abgeschnitten und lösungsdicht verschlossen (d. h. verschraubt oder verschweißt). Das Einlagerungsbohrloch wird durch einen Bohrlochverschluss verschlossen, welcher – vorbehaltlich einer ingenieurtechnischen Bemessung – aus einem ca. 5 m mächtigen Bentonit-Dichtelement und einem ca. 3 m mächtigen Betonwiderlager im Bereich des Bohrlochkellers besteht.

Verfüll- und Verschlusskonzept

Bei Endlagern im Tongestein wird der langzeitige Einschluss des radioaktiven Inventars in erster Linie durch das Wirtsgestein sichergestellt. Bis die Resthohlräume im Grubengebäude durch die Konvergenz, die Korrosion des Ausbaus und das Quellen des Versatzes vollständig verschlossen sind, übernehmen geotechnische Barrieren die Dichtfunktion und verschließen Wegsamkeiten in den Hohlräumen.

In den Sicherheitsanforderungen /BMU 10/ wird gefordert, das Barrierensystem mittels Redundanz und Diversität zu optimieren, so dass der Ausfall einzelner Barrieren zu verkraften wäre. Das Barrierensystem schließt zwar generell Behälter und Abfallmatrix mit ein, aber im Vorhaben ANSICHT wird ein Langzeitsicherheitskonzept zu Grunde gelegt, dass weder die Endlagerbehälter noch die Abfallmatrix als sicherheitsrelevant betrachtet [TEC 15b]. Allein die geotechnischen Barrieren sind langzeitrelevant; es bestehen folgende Komponenten:

- Nahfeldsystem im Bohrloch (mit Außenliner, Buffer, Innenliner, Verfüllung und Behälter),
- Bohrlochverschluss mit Widerlager,
- Streckenverschlüsse,
- Schachtverschlüsse,
- Versatz.

Übertägige Erkundungsbohrungen können Wegsamkeiten zwischen Biosphäre bzw. Gebirgsbereichen mit erhöhter hydraulischer Leitfähigkeit (z. B. sandige oder klüftige Bereiche) und den Einlagerungssohlen im Grubengebäude bilden. Daher sind diese qualitätsgesichert und langzeitstabil zu verschließen.

Nahfeldsystem

Unter dem Nahfeldsystem werden Außenliner, Buffer, Innenliner und Endlagerbehälter verstanden. Der Endhalterbehälter wird so ausgelegt, dass er rückholbar und für 500 Jahre bergbar ist. Zur Gewährleistung der Rückholbarkeit bzw. Bergbarkeit wird der Hohlraum zwischen Behälter und Liner mit rieselfähigem Sand verfüllt. Die Verfüllung verhindert ein Verkanten des Behälters und verbessert die Wärmeabfuhr. Der Innenliner sorgt für einen mechanischen Schutz des Behälters gegenüber dem auflaufenden Gebirge sowie die Verzögerung des Lösungskontakts mit dem Behälter und damit der Korrosion. Für die Sandverfüllung und den Innenliner gilt eine Funktionsdauer von 500 Jahren.

Der Buffer soll den Lösungszutritt bzw. die Freisetzung kontaminierter Lösung verzögern, das chemische Milieu im Nahfeld puffern und Radionuklide sorbieren. Analog zum Bohrlochverschluss wird eine Funktionsdauer von 50.000 Jahren genannt. Der Außenliner dient zur mechnaischen Stabilisierung der Bohrlochkontur beim Einbau der Nahfeldbarrieren.

Bohrlochverschluss der Einlagerungsbohrlöcher

Der Bohrlochverschluss soll den Lösungstransport sowohl in als auch aus dem Bohrloch behindern und die Auflockerungszonen um das Bohrloch im Sohlenbereich der Einlagerungsstrecke teilweise abdichten. Die Bohrlochverrohrung bis ca. 10 m unter der Sohle abgeschnitten und der obere Bereich des Bohrlochs nachgeschnitten bzw. aufgeweitet. Hier wird ein Bohrlochverschluss aus einem ca. 5 m starkem Bentonit-Dichtelement – vorbehaltlich der ingenieurtechnischen Bemessung – eingebaut. Der Bohrlochkeller wird mit Beton verfüllt und bildet das Widerlager. Der Bohrlochverschluss soll zusätzlich Radionuklide zurückhalten. Für die Bohrlochverschlüsse wird eine Funktionsdauer von 50.000 Jahre festgelegt.

Streckenverschlüsse

Es werden einfache Streckenverschlüsse (Migrationssperren) an der Einmündung der Querschläge der Einlagerungsfelder in die Richtstrecken sowie doppelte bzw. redundante Streckenverschlüsse am Übergang von Richtstrecken zum Infrastrukturbereich vorgesehen. Sie bestehen jeweils aus Bentonit-Dichtelementen und Widerlagern aus Benton. Als zusätzliche Redundanz ist stützender Versatz vorgesehen, der nach der

Korrosion der Widerlager die Dichtelemente in ihrer Position hält. Die Ausführungen zu den Streckenverschlüssen bei der Streckenlagerung (vgl. Kapitel 3.1.3) gelten hier in gleicher Weise. Für diese Streckenverschlüsse wird eine Funktionsdauer von 50.000 Jahre festgelegt.

Versatz

Der Versatz in den Einlagerungsstrecken, Querschlägen und Richtstrecken soll durch seine Quellfähigkeit bei Aufsättigung einen Stützdruck aufbauen, der die Konvergenz reduziert und eine weitere Schädigung des Wirtsgesteins in der Umgebung der Strecken (Ausweitung der Auflockerungszonen) verhindert. Durch den Quelldruck und die Kompaktion des Versatzes sollen langfristig auch die Strecken abgedichtet werden. Für das Verfüllen der Strecken wird arteigenes, aufbereitetes Ausbruchmaterial vorgesehen, da es Radionuklide zurückhält und verfügbar ist. Sollten die enthaltenen Tonminerale nicht ausreichen, die o. g. Anforderungen an das Quellvermögen des Versatzes zu erfüllen, können quellfähige Tonminerale (Bentonite) zugemischt werden.

Die Infrastrukturbereiche und Erkundungsbohrungen sind auch in geeigneter Weise zu verfüllen. In den Infrastrukturbereichen werden ggf. spezielle Versatzstoffe eingesetzt, siehe Kap. 3.1.3.

Schachtverschlüsse

Schachtverschlüsse verschließen potentielle Wegsamkeiten zwischen der Biosphäre und dem Endlager und haben eine besondere sicherheitstechnische Bedeutung. Das Endlagerbergwerk soll über zwei Schächte verfügen, welche nach dem Einlagerungsbetrieb abgedichtet werden. Das Design der Schachtverschlüsse leitet sich aus den standortspezifischen Verhältnissen im Wirtsgestein und Nebengebirge ab. Das vorläufige Verschlusskonzept und das Referenzprofil für diese Schächte gemäß /TEC 15/ ist in Abb. 3.10 dargestellt. Die Verschlüsse bestehen aus Bentonit-Dichtelementen, Bitumen-Schotter-Säulen, Beton-Widerlagern und Verfüllmaterial (Ausbruch).

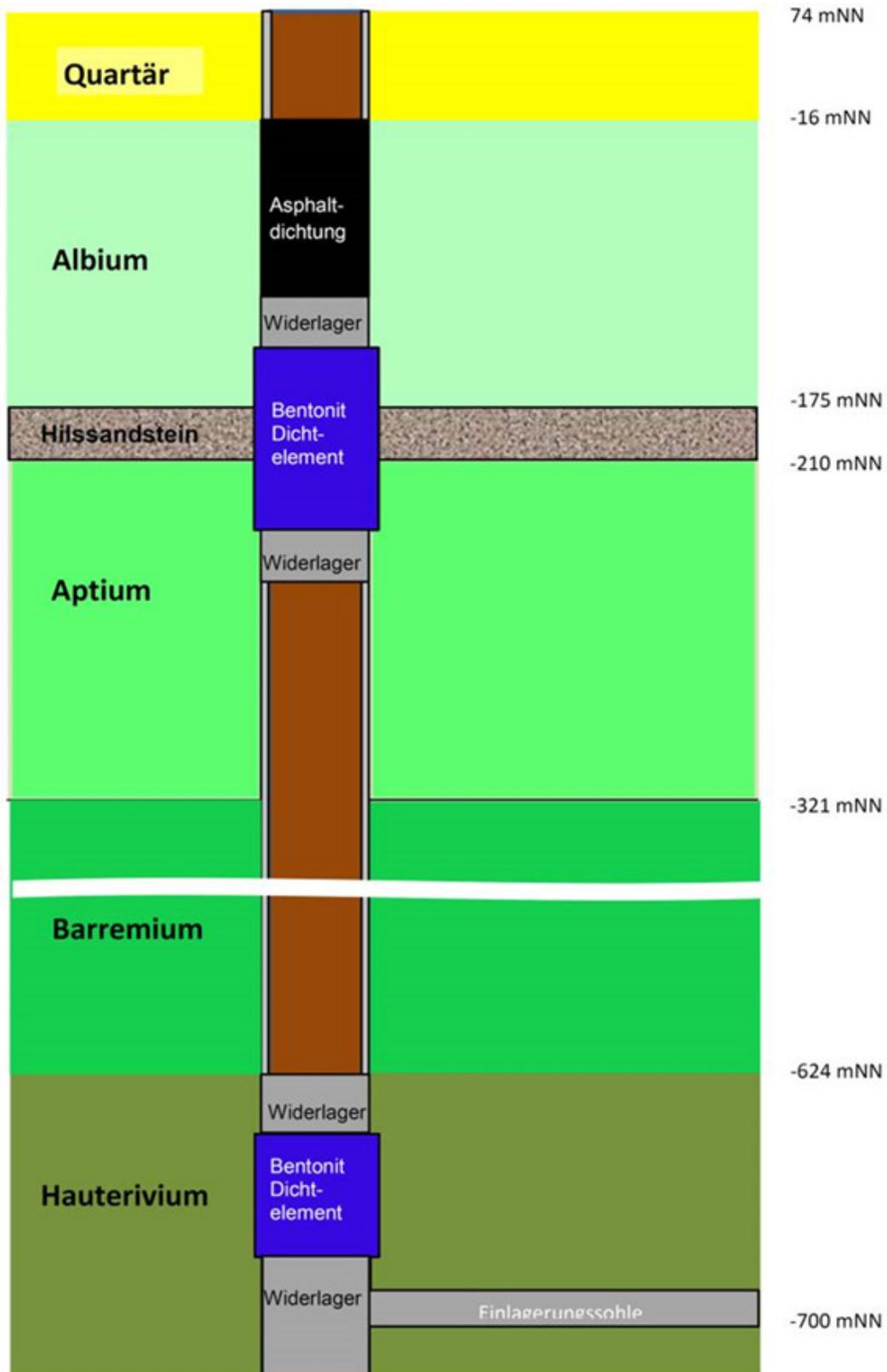


Abb. 3.9 Schachtverschlusskonzept für das Referenzprofil ANSICHT NORD, aus /TEC 15/

3.2 Endlagerkonzepte in Salinargesteinen

Für die direkte Endlagerung von ausgedienten Brennelementen im Steinsalz wurde das Referenzkonzept POLLUX® /DBE 98/ für die Einlagerung in Strecken entwickelt. Konzepte für die Einlagerung in vertikalen Bohrlöchern folgten /GRS 11/, /GRS 12/. Die Konzepte erfordern das Zerlegen von Brennelementen in Brennstäbe und Strukturteile. Im Gegensatz wird im Konzept der direkten Endlagerung von Transport- und Lagerbehältern in horizontale Kurzbohrlöcher auf das Zerlegen von Brennelementen verzichtet /GRS 12/.

Für die Einlagerung von ausgedienten Brennelementen und radioaktiven Abfällen in flach lagernden Salzschieben wurde auch ein Konzept für die horizontale Bohrlochlagerung von Brennstabkaskillen erarbeitet /TEC 18/.

Die Studien der VSG /GRS 13/ liefern eine weitere wichtige konzeptionelle Grundlage für die Endlagerung im Steinsalz.

3.2.1 Geologische Rahmenbedingungen

In Deutschland finden sich mächtige Salinarformationen im Zechstein Norddeutschlands. Die Formationen bestehen aus sieben Salinarzyklen, die vom Liegenden zum Hangenden aus klastischen Sedimenten (Konglomeraten, Salzton), Karbonaten (Kalk, Dolomit), Anhydrit, Stein- und Kalisalzen bestehen. Salzmächtigkeiten von mehreren hundert Metern treten zumeist in der Werra (z1)- und Staßfurt (z2)-Folge auf und nehmen in der Leine (z3)- und Aller (z4)-Folge ab. In den Zechstein-Folgen (z5) bis (z7) beträgt die Salzmächtigkeit oft nur wenige Meter oder sie streichen aus. Aufgrund der geringen spezifischen Dichte und plastischen Verformbarkeit von Salzgesteinen kam es bei Überlagerung von mächtigen Sedimenten zum Salzfließen und -aufstieg, insbesondere im Bereich von Störungen (Halokinese). Es bilden sich kissenförmige, oder pilzförmige Salzstrukturen, die Mächtigkeiten bis mehrere tausend Meter aufweisen. In diesen Strukturen liegen mächtige, weitgehend homogene Salinare vor. Die Strukturen treten verbreitet im Norddeutschen Becken auf, während südlich davon flachlagernde Salzformationen in geringerer Teufe vorliegen.

Steinsalz ist das potenzielle Wirtsgestein und weist günstige Eigenschaften auf, wie sehr geringe hydraulische Leitfähigkeit, sehr geringer Feuchtegehalt (< 0,01 Vol. %), gute Wärmeleitfähigkeit, hohe gebirgsmechanische Stabilität und vorwiegend plasti-

sche Verformung. Aufgrund der günstigen Eigenschaften war Steinsalz das bevorzugte Wirtsgestein für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in Deutschland. Seit 1979 wurde der Salzstock Gorleben auf seine Eignung für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle untersucht /BGR 07/, BGR 07b/, /BGR 08/, /BGR 11/. Grundlagen für sicherheitstechnische Bewertungen von Salzformationen wurden in der generischen Studie ISIBEL ermittelt /TEC 10/ und in der vorläufigen Sicherheitsanalyse Gorleben (VSG) standortspezifisch angewendet /GRS 13/. In der generischen Studie KOSINA wurde die Eignung flachlagernder Salzformationen für die Endlagerung untersucht und bewertet /TEC 18/. Geologische Grundlagen waren Modelle für die flache Lagerung und Salzkissen.

Da seit mehr als 100 Jahren in Deutschland intensiv Bergbau auf Stein- und Kalisalze betrieben wird und auch Speicherkavernen von Kohlenwasserstoffen im Salzgestein betrieben werden, zählen die Salzformationen zu den am besten bekannten Gesteinsformationen in Deutschland.

3.2.2 Bergbauliche Betrachtungen in Salinargesteinen

Aufgrund des Bergbaus zur Gewinnung von Stein- und Kalisalzen stehen umfangreiche Erfahrungen für das Auffahren eines Bergwerks im Steinsalz zur Verfügung.

Das Auffahren der Grubenräume eines Endlagers im Steinsalz kann durch Schneiden oder durch Bohren und Sprengen erfolgen. In den bisherigen Konzepten /GRS 11/, /GRS 12/, /TEC 18/ wurde das Auffahren mit Teilschnittmaschinen bevorzugt. Die Grubenräume im Steinsalz können grundsätzlich standsicher und konturstabil aufgefahren werden. Weniger stabil sind Grubenräume im Anhydrit und Kalisalz. Stark belastete Konturen oder Grubenräume mit langer Lebensdauer, wie Werkstätten, und Grubenräume in mechanisch weniger stabilen Gesteinsbereichen werden mit Gebirgsankern und Netzen gesichert. Aufgrund der Konvergenz sind regelmäßiges Berauben und Nachschneiden zur Kontursicherung und Offenhaltung der Grubenbaue im aufgefahrenen Querschnitt notwendig.

Bedenken bezüglich der grundsätzlichen Machbarkeit des Abteufens von Bohrlöchern bis 300 m Länge in Salzgestein bestehen nicht. Nach /GRS 11/ ist das Abteufen mit der erforderlichen Genauigkeit in Serie noch zu zeigen. Denkbar ist eine Bohranlage mit pneumatischer Förderung des Bohrkleins. Als Alternative bietet sich das Bohren mit

einer an NaCl gesättigten Bohrspülung an. Das Verrohren einer solchen Bohrung ist Stand der Technik /GRS 12/.

3.2.3 Streckenlagerung von POLLUX®-Behältern

Abfallgebinde

Für die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle und ausgedienter Brennelemente (BE) in Strecken werden POLLUX®-Behälter vorgesehen, siehe Abb. 3.11. Für die unterschiedlichen Abfallarten werden folgende Endlagerbehälter betrachtet:

- Endlagerbehälter Typ POLLUX® für ausgediente Brennelemente,
- Endlagerbehälter Typ POLLUX® für HAW-Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (CSD-V),
- Endlagerbehälter Typ POLLUX®-9 für schwach wärmeentwickelnde LAW- und MAW-Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (CSD-C, CSD-B),
- MOSAIK®-Behälter für Strukturteile aus der BE-Konditionierung,
- Transport- und Lagerbehälter für ausgediente BE aus Versuchs- und Prototyp-Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren.

Einlagerungskonzept

In diesem Konzept wird die Einlagerung der Abfallgebinde in Einlagerungsstrecken vorgesehen. Diese haben nur den Zugang über den sie mit Abfallgebinden beladen werden. Die Gebinde werden mit Plateauwagen auf Schienen angeliefert, mit einem Portalkran von den Plateauwagen abgehoben und auf den Auflagern in den Einlagerungsstrecken abgelegt, siehe Abb. 3.12.

Im Anschluss an die Einlagerung eines Behälters wird die Einlagerungsvorrichtung in die nächste Einlagerungsstrecke gebracht. Anschließend befördert die Lok den entladenen Plateauwagen zum Förderschacht. Die Hohlräume zwischen den abgelegten POLLUX®-Behältern und der Streckenkontur werden sofort mit Salzgrus versetzt.

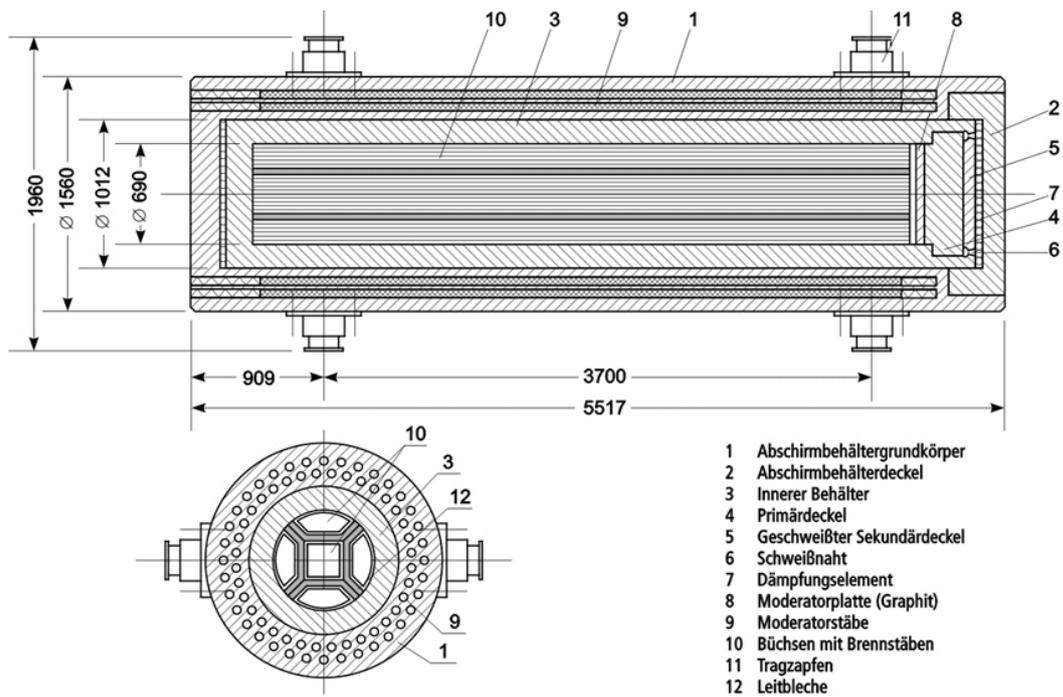


Abb. 3.10 POLLUX®-Behälter mit gezogenen Brennstäben aus DWR-BE

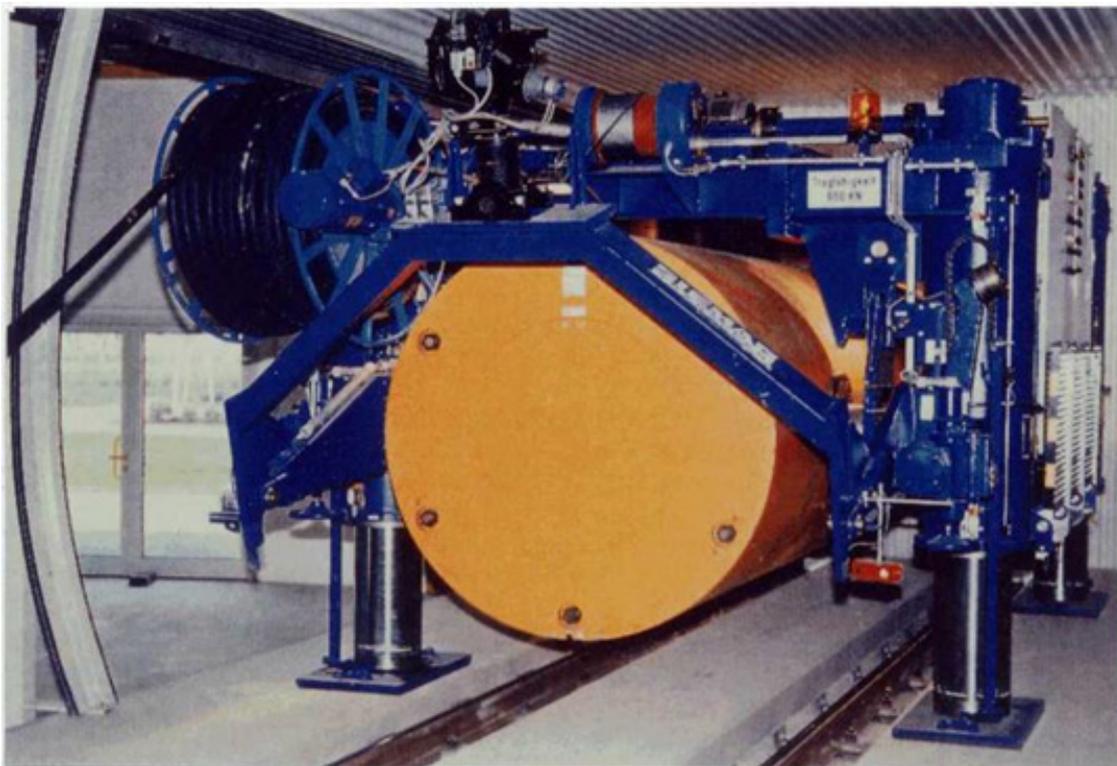


Abb. 3.11 Einlagerungsvorrichtung für POLLUX®-Behälter, aus /GRS 11/

Verfüll- und Verschlussmaßnahmen

Die Zugangs- und Richtstrecken sowie die Tagesschächte stellen eine Durchörterung der geologischen Barriere dar. Im Sicherheitskonzept wird deshalb eine schnelle und wirksame Abdichtung dieser Strecken und Schächte gefordert, um die Integrität der geologischen Barriere wieder herzustellen.

Für die Verfüllung der Grubenbaue ist trockener Salzgrus vorgesehen. Das Konzept verfolgt die Einlagerung im Rückbau, d. h. es wird am entferntesten Punkt vom Schacht mit der Einlagerung begonnen. Durch das auflaufende Gebirge entwickelt sich im Versatz ein Stützdruck, der zur Stabilisierung des Bergwerks beiträgt. Durch das trockene Versatzmaterial wird die Korrosion der POLLUX®-Behälter begrenzt. In den Richtstrecken sind zur Abdichtung der Einlagerungsbereiche von Infrastrukturbereichen Verschlüsse vorgesehen. Diese besitzen je zwei Dichtelemente aus Sorelbeton von etwa 100 m Länge. Die Tagesschächte werden mit Trag- und Abdichtelementen aus langzeitstabilen Materialien verfüllt – gemäß den standortspezifischen geologischen und hydrochemischen Eigenschaften.

Falls es zur Funktionseinschränkung eines der Schachtverschlüsse kommt, könnten gesättigte Lösungen in die Infrastrukturbereiche eindringen. Um das Vordringen der Lösung zu den Streckenverschlüssen zu behindern, sollen die Infrastrukturräume im Nahbereich der Schächte als mögliche Speicher eingerichtet und mit hoch porösem, nicht kompaktierbarem Material (Serpentinit-, Basaltschotter) verfüllt werden, siehe Kap. 3.1.3. Die Standsicherheit der Grubenbaue wird dadurch nicht beeinträchtigt.

3.2.4 Vertikale Bohrlochlagerung

Abfallgebände

Für die vertikale Bohrlochlagerung in Steinsalz ist im Wesentlichen eine rückholbare Kokille vorgesehen, siehe u. a. die rückholbare Brennstabkokille in Abb. 3.9. Für die unterschiedlichen Abfallarten werden folgende Endlagerbehälter betrachtet:

- rückholbare Brennstabkokillen (BSK-R) für ausgediente Brennelemente,
- rückholbare Kokillen für HAW-Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (CSD-V),

- rückholbare Kokillen für schwach wärmeentwickelnde LAW- und MAW-Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (CSD-C, CSD-B),
- MOSAIK®-Behälter für Strukturteile aus der Brennelement-Konditionierung (Streckenlagerung),
- Transport- und Lagerbehälter für ausgediente Brennelemente aus Versuchs- und Prototyp-Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren (Streckenlagerung).

Einlagerungskonzept

Die Einlagerungsbohrlöcher sind ca. 300 m lang. Die Anzahl der Kokillen in einem Bohrloch variiert nach thermischer Auslegung und Wärmeleistung der Abfälle. Da die Kokillen nicht selbstabschirmend sind, werden sie in Transferbehältern mit einem Plateauwagen bis zu den Einlagerungsbohrlöchern gefahren. Dort werden sie mit einer Einlagerungsmaschine im Bohrloch positioniert. Der Einlagerungsvorgang ist detailliert in /TEC 15/ dargelegt. In ein Bohrloch werden rieselfähiger Sand und Kokillen im Wechsel eingebracht, um die Kokillen – falls erforderlich – aus dem Liner ziehen und rückholen zu können. Außerdem sorgt der Sand für die Lagestabilität der Kokillen. Die Bohrlochschleuse gewährleistet den Strahlenschutz während der Einlagerung. Nach der vollständigen Beladung eines Bohrlochs wird die Bohrlochschleuse demontiert, der Liner ca. 10 m unter der Streckensohle abgeschnitten, das Bohrloch lösungsdicht verschlossen und mit einem Stahldeckel abgedeckt. Die Abb. 3.13 zeigt die Bestandteile der Transport- und Einlagerungstechnik im Versuchsstand.

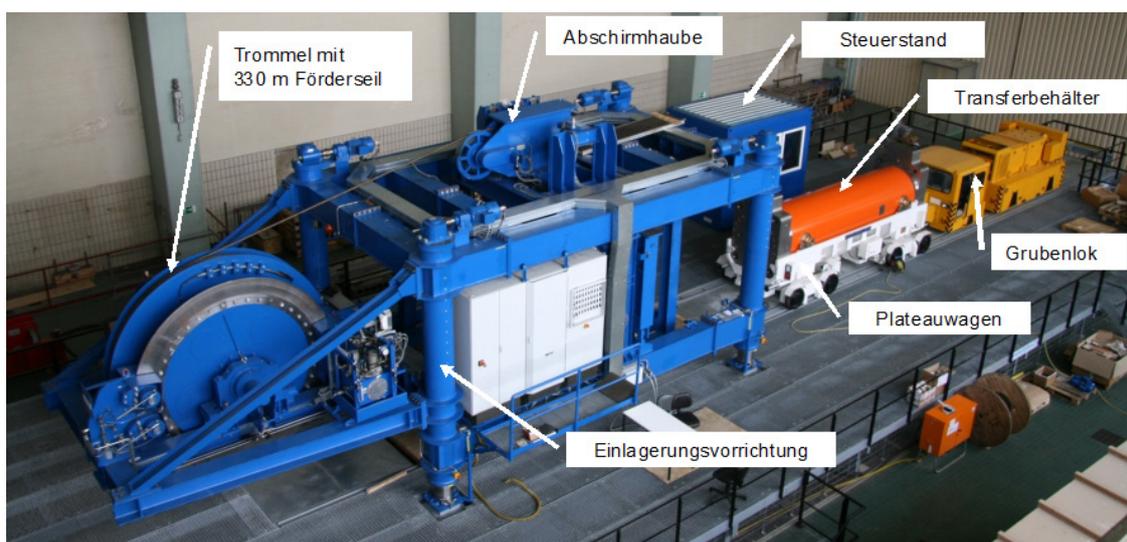


Abb. 3.12 Einlagerungsvorrichtung für Brennstabkokillen, Demonstrationsanlage zur Erprobung der Einlagerungstechnik, aus /TEC 15/

Verfüll- und Verschlussmaßnahmen

Als Versatzmaterial für Grubenhohlräume ist – wie bei der Streckenlagerung (s. o.) – Salzgrus vorgesehen. Nach der vollständigen Befüllung und dem Verschluss eines Einlagerungsbohrlochs mit Kokillen wird der Bohrlochkeller – und nach Befüllung aller Bohrlöcher einer Bohrlochüberfahrungsstrecke – die Bohrlochüberfahrungsstrecke mit trockenem Salzgrus verfüllt. Das Überfahren des Bohrlochkellers in der Betriebsphase bis zum Verfüllen der Einlagerungsstrecke erfolgt über Sonderkonstruktionen (z. B. Stahlplatten), die vor dem Einbringen des Versatzes geraubt werden. Der weitere Verlauf der Verfüll- und Verschlussmaßnahmen entspricht der der Streckenlagerung, siehe Kapitel 3.2.3.

3.2.5 Einlagerung von Transport- und Lagerbehältern in horizontalen Kurzbohrlöchern

Die geringe Wärmeleitfähigkeit des Salzversatzes in der frühen Nachverschlussphase und die hohe Wärmeleistung der Transport- und Lagerbehälter (TLB) würden bei der Streckenlagerung sehr lange Zwischenlagerzeiten von bis zu 90 Jahren erfordern, um die maximale Auslegungstemperatur im Steinsalz von 200°C einzuhalten. Deshalb ist die Nutzung von TLB bei einer Streckenlagerung im Steinsalz nicht möglich und es wurde ein Konzept zur Einlagerung in kurzen horizontalen Bohrlöchern entwickelt.

Abfallgebände

Für die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle und ausgedienter Brennelemente in horizontalen Kurzbohrlöchern sind folgende Behälter zu berücksichtigen:

- Brennelemente von DWR im CASTOR® V/19 (vgl. Abb. 3.14), von SWR im CASTOR® V/52 und von WWER in CASTOR® 440/84,
- radioaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (CSD-V, CSD-B, CSD-C) in CASTOR® HAW 20/28 CG, CASTOR® HAW28M, TN23E, TS28V und TGC27,
- ausgediente Brennelemente aus Versuchs- und Prototyp-Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren in TLB.

Die TLB haben eine Zulassung für den Transport und die Zwischenlagerung ausgedienter Brennelemente und Wiederaufarbeitungsabfälle. Der Eignungsnachweis der

Behälter für die Endlagerung ist noch zu erbringen. Aufgrund der Kritikalitätssicherheit werden die Hohlräume in den Behältern mit ausgedienten Brennelementen z. B. mit Magnetit-Granulat verfüllt. Als abdeckende Masse für einen Behälter werden 160 t angenommen.

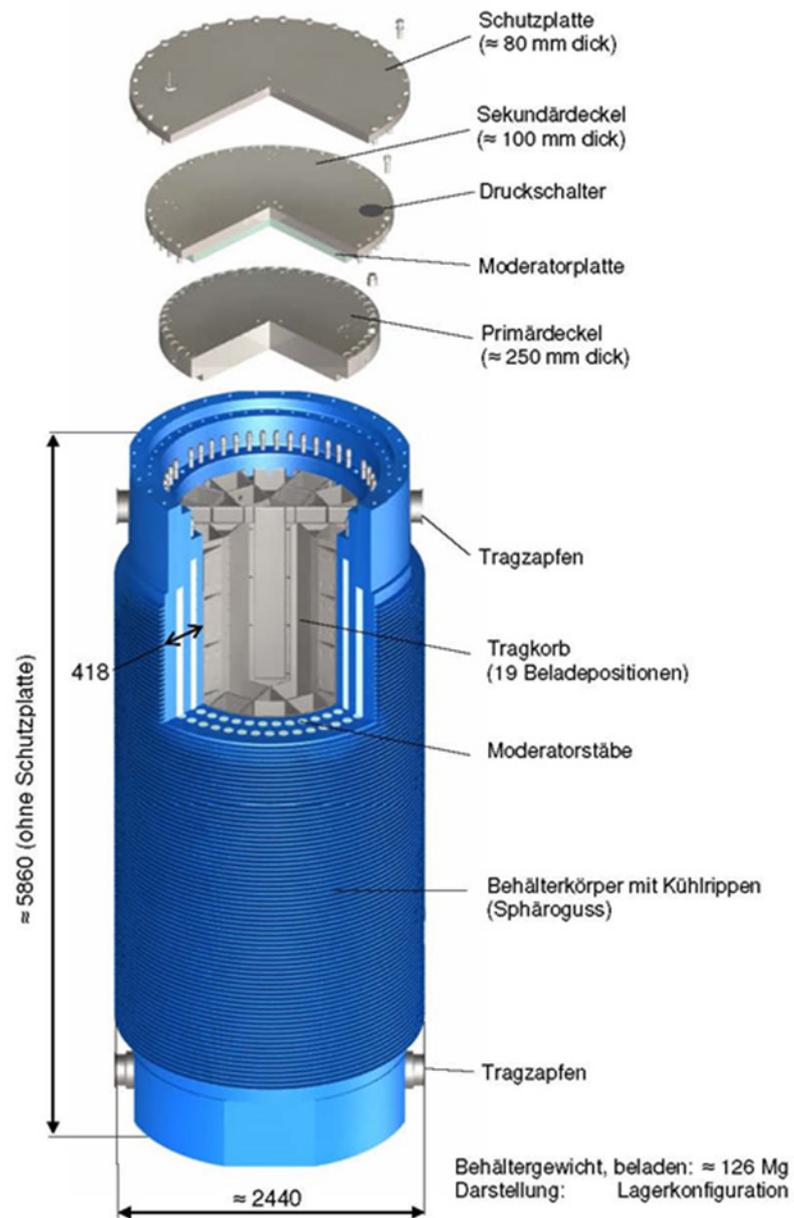


Abb. 3.13 3D-Modell eines CASTOR® V/19 Behälters

Einlagerungskonzept

Im Gegensatz zu anderen Konzepten findet bei der Einlagerung von ausgedienten Brennelementen in TLB eine Umladung am Füllort des Transportschachtes statt. Dies

ist auf das hohe Gewicht des Abfallgebindes und die daraus resultierende Einlagerungstechnik zurückzuführen. Im Folgenden werden die Konzeptionen zur Umladung am Füllort, zum Streckentransport und zur Einlagerung dargestellt, siehe Abb. 3.15 ff.

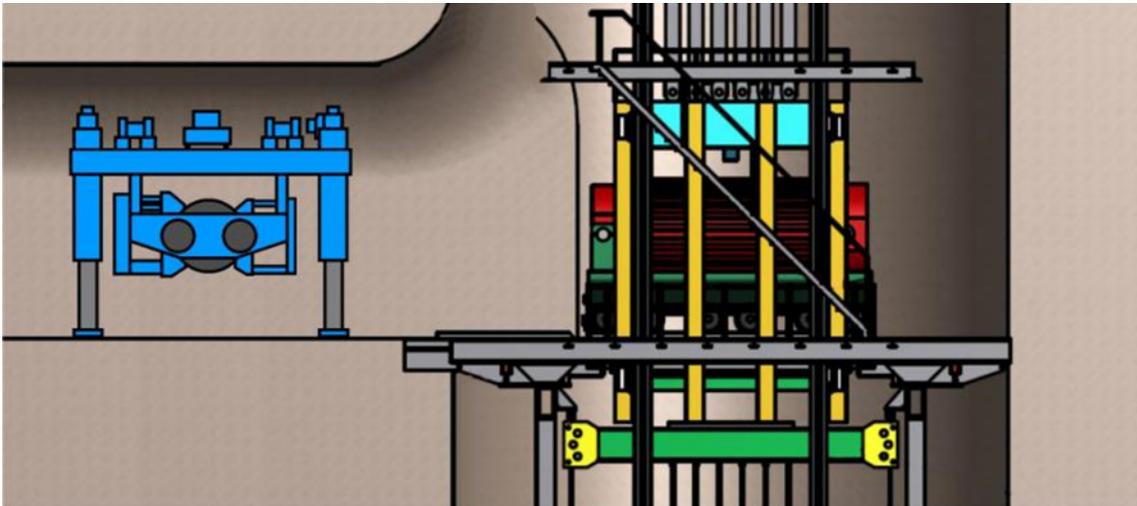


Abb. 3.14 Umladung am Füllort

Ein mit einem TLB beladener Schachttransportwagen wird am Füllort durch eine Aufschub- und Abzugsvorrichtung vom Förderkorb abgezogen und auf dem Querverschub bereitgestellt. In der Umladevorrichtung wird der TLB auf die Streckentransport- und Einlagerungsvorrichtung (STEV) umgeladen, siehe Abb. 3.16.

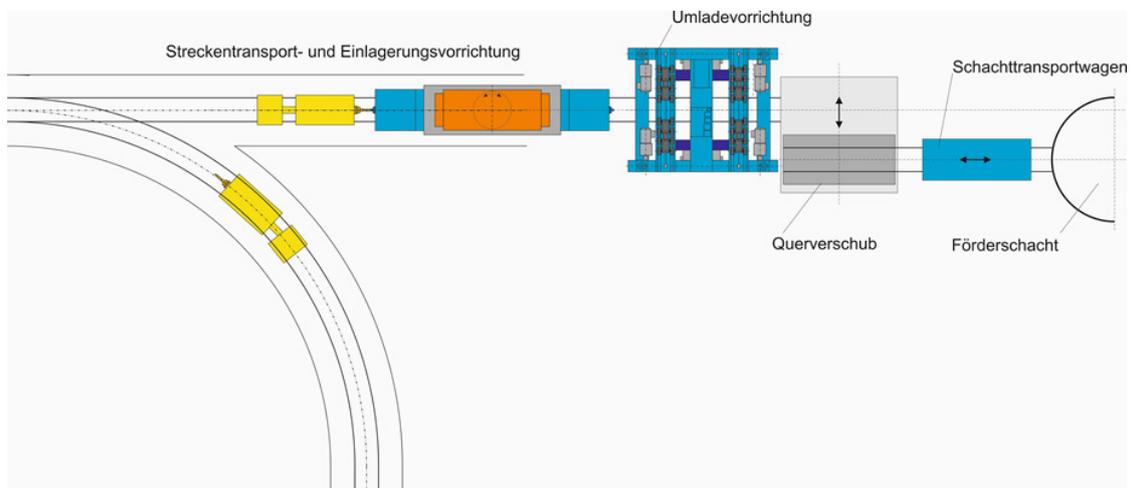


Abb. 3.15 Situation am Füllort

Am Einlagerungsort wird der TLB auf der Drehscheibe des STEV in die Einlagerungsposition gebracht (Ansicht A) und dann durch Teleskopzylinder auf einem Schlitten in das Bohrloch verschoben, siehe Abb. 3.17.

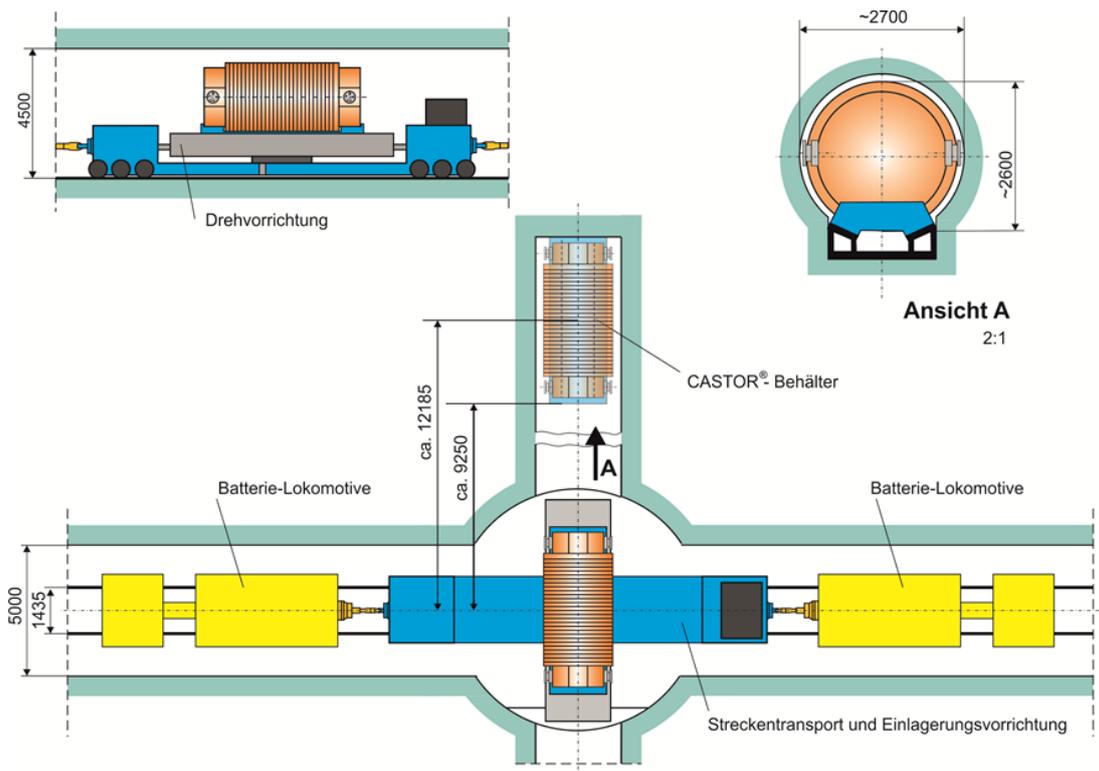


Abb. 3.16 Situation am Einlagerungsort für die TLB-Einlagerung

Verfüll- und Verschlussmaßnahmen

Nach gegenwärtigem Planungsstand wird nach Einlagerung eines TLB der Ringraum zwischen TLB und Kontur bis zur Bohrlochkante mit Salzgrus verfüllt. Querschlägige Beschickungsstrecken werden mit trockenem Salzgrus versetzt. Weitere Maßnahmen entsprechen denen der Strecken- und Bohrlochlagerung, siehe Kapitel 3.2.3 und 3.2.4.

3.2.6 Horizontale Bohrlochlagerung von Brennstabkokillen

Für flach lagernde Salzformationen wurde ein Konzept für die horizontale Bohrlochlagerung von Brennstabkokillen entwickelt /TEC 18/.

Abfallgebinde

Für die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle und ausgedienter Brennelemente in horizontalen Bohrlochern wird im ersten Ansatz auch die Brennstabkokille (BSK) als Endlagerbehälter betrachtet, siehe Abb. 3.9. Der Kopf der BSK ist für den Einschub in ein horizontales Bohrloch noch anzupassen. Eine rückholbare, konisch ge-

formte Kokille wird nicht verwendet, da das Bohrloch nicht verfüllt wird. Für die unterschiedlichen Abfallarten werden folgende Endlagerbehälter betrachtet:

- angepasste Brennstabkokillen (BSK) für ausgediente Brennelemente,
- Kokillen für HAW-Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (CSD-V),
- Kokillen für schwach wärmeentwickelnde LAW- und MAW-Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (CSD-C, CSD-B),
- MOSAIK®-Behälter für die Strukturteile aus der Brennelement-Konditionierung (Streckenlagerung),
- Transport- und Lagerbehälter für ausgediente Brennelemente aus Versuchs- und Prototyp-Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren (Streckenlagerung).

Einlagerungskonzept

Um die Rückholbarkeit der Endlagergebäude gemäß den Sicherheitsanforderungen /BMU 10/ gewährleisten zu können, ist eine Verrohrung des Bohrloches vorgesehen. Die Bohrlöcher werden direkt verrohrt und verbinden zwei nebeneinander liegende Bohrlochbeschickungsstrecken. Die Bohrlöcher haben eine Länge von ca. 100 m. Die Bohrlochverrohrung ist zum Einschleusen der Kokillen in regelmäßigen Abständen mit Panzerrollen ausgestattet.

Der Transport der Abfallgebäude zum Bohrloch erfolgt wie bei vertikaler Bohrlochlagerung mit elektrischer Lok und Plateauwagen. Die Kokillen werden zur Abschirmung der radioaktiven Strahlung in Transferbehältern transportiert. Das Bohrloch ist mit einer Bohrlochschleuse für den Strahlenschutz versehen. Der Einschub der Kokillen in das Bohrloch erfolgt, bis das komplette Bohrloch befüllt ist. Eine Verfüllung des Bohrlochs mit Sand oder ähnlichen Materialien ist nicht geplant. Bei der Auslegungstemperatur von 200°C ist der Wärmetransport durch Wärmestrahlung ausreichend, um die Auslegungstemperatur einzuhalten. Das Bohrloch wird nach der Einlagerung mit einem Stahldeckel verschlossen.

Verfüll- und Verschlussmaßnahmen

Als Versatzmaterial für die Hohlräume ist Salzgrus vorgesehen. Nach Befüllung aller Bohrlöcher in einer Bohrlochbeschickungsstrecke wird diese mit trockenem Salzgrus

versetzt. Weitere Verfüll- und Verschlussmaßnahmen entsprechen denen der Streckenlagerung, siehe Kapitel 3.2.3.

3.3 Endlagerkonzepte im Kristallin

Im Rahmen des Vorhabens „Entwicklung eines technischen Konzeptes für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle und ausgediente Brennelemente im Kristallin in Deutschland“ (KONEGD) /TEC 17b/ wurden technische Endlagerkonzepte für die Einlagerung von radioaktiven Abfällen in Kristallingesteinen erarbeitet. Aufgrund unterschiedlicher Konzepte zur Gewährleistung des sicheren Einschlusses der Radionuklide im Kristallingestein im Vergleich zum Tongestein und Steinsalz weist dieses Kapitel eine andere Struktur auf. Dies soll vor allem die Unterschiede der Varianten klar herausstellen.

3.3.1 Geologische Rahmenbedingungen

Der aktuelle Kenntnisstand über deutsche Kristallinformationen wurde von BGR im Rahmen des FuE-Projektes CHRISTA zusammengefasst /BGR 05/, /BGR 16/. Als Kristallingesteine wurden Plutonite (z. B. Granite), Vulkanite (z. B. Basalte) und hochmetamorphe Gesteine (z. B. Gneise) zusammengefasst. Die Gesteine und ihre Eigenschaften variieren in Abhängigkeit von der Genese und der geologischen bzw. geotektonischen Überprägung regional stark. Die geologische Karte der Tiefenlage des Grundgebirges zeigt, dass in SW-Deutschland (Schwarzwald, Odenwald, Spessart) und SE-Deutschland (Bayrischer Wald, Fichtelgebirge, Oberpfälzerwald, Thüringisch-Voigtländisches Schiefergebirge, Erzgebirge, Lausitzer Bergland) Gebiete existieren, in denen das Kristallin oberflächlich ausstreicht oder mit geringer Bedeckung ansteht /BGR 05/. Weiterhin gibt es Gesteinsformationen, die ein Deckgebirge aufweisen. Die oberflächlich bzw. mit geringer Bedeckung aufgeschlossenen Formationen erlauben zumeist keine umfassende Bewertung der tektonischen, hydraulischen und mechanischen Gesteinseigenschaften in der Tiefe.

Günstige Eigenschaften der Kristallingesteine als Wirtsgestein sind hohe Festigkeit, geringe Lösefähigkeit, höhere Wärmeleitfähigkeit (als Tongestein) und günstigere Wärmeausdehnungskoeffizienten (als Steinsalz). Die Gesteinsmatrix weist zwar eine geringe hydraulische Leitfähigkeit auf, aber eine intensive Klüftung bedingt zumeist

Wasserführung der Kristallingesteine. Dadurch kann auch die mechanische Stabilität reduziert werden.

3.3.2 Bergbauliche Betrachtungen im Kristallingestein

Das Auffahren eines Endlagers in Kristallingestein kann durch Schneiden oder durch Bohren und Sprengen erfolgen. Die konkrete Festlegung auf eine Vortriebstechnik für die Auffahrung der Grubenbaue im Kristallin ist aufgrund der unzureichenden Datenlage nicht sinnvoll. Ungewissheiten betreffen nicht nur die geologischen Bedingungen selbst, sondern auch eine sich daraus ergebende Geometrie des Grubengebäudes. Bohren und Sprengen kann aufgrund seiner Flexibilität und Einsatzfähigkeit bei hohen Gesteinsfestigkeiten als Referenzvariante betrachtet werden, der häufig der Vorzug gegeben würde. Es ist zwar davon auszugehen, dass ein Vortrieb mit Bohren und Sprengen immer möglich ist, jedoch mag in Abhängigkeit der Umstände eine schneidende Vortriebstechnik empfehlenswert sein – insbesondere bei Strecken mit großer Länge (z. B. Richtstrecken).

Die Standsicherheit der aufgefahrenen Hohlräume im Endlagerbergwerk muss für die Betriebsphase gewährleistet werden. Entsprechend der gebirgsmechanischen Stabilität werden für die Grubenbaue folgende Ausbausysteme angenommen:

- Systematische Ankerung: Diese Ankerung besteht aus einem klar definierten, regelmäßigen Raster aus Gebirgsankern in Firste und/oder Stößen.
- Punktankerung: Bei einer Punktankerung werden einzelne oder mehrere Anker nur lokal eingesetzt, wenn Felssicherung als notwendig eingestuft wird.
- ohne Ausbau: teilweise kann auf Ausbau verzichtet werden.

Die Bohrlochüberfahrungsstrecken müssen in den Konzepten „modifiziertes KBS-3-Konzept“ und „multipler ewG“ (s. u.) aufgrund der Langzeitsicherheit bereits hohen Qualitätsanforderungen genügen. Ebenso sollte in diese Strecken kein Fremdmaterial (Anker, Beton) eingebracht werden, das die Langzeitsicherheit negativ beeinflussen könnte. Dort sind also nur einzelne Anker und Netze an kritischen Stellen zu erwarten.

Zusätzlich zum Ausbauen können weitere Maßnahmen für die Standsicherheit und zur Vermeidung von Lösungszuflüssen notwendig sein, v. a. Injektionen in gestörte bzw. geklüftete, wasserführende Gebirgsbereiche.

Ein Prototyp einer Bohranlage für das Erstellen von Einlagerungsbohrlöchern wurde von POSIVA erprobt /POS 16/, /POS 17/. Das grundsätzliche Bohrprinzip der Anlage ist dem Raise-Bohrverfahren entlehnt. Anstatt den nach oben zeigenden Schneidkopf durch ein Pilotbohrloch zur Bohranlage hin zu ziehen, wird der Bohrkopf mit den Schneidwerkzeugen nach unten auf die Sohle aufgesetzt. Den Anpressdruck liefern Hydraulikstempel, die die Bohranlage gegen die Firste der Bohrlochüberfahrungsstrecke abstützen. Zur Führung des Bohrmeißels wurde vorher ein Kleinkaliberbohrloch senkrecht abgeteuft. Der Führungszapfen („Bull nose“) des Meißels wird in diesem Bohrloch geführt.

3.3.3 Varianten der Endlagerkonzepte

Die Endlagerkonzepte wurden im FuE-Projekt KONEGD entwickelt /TEC 17b/.

Modifiziertes KBS-3-Konzept

Das KBS-3-Konzept ist ein von SKB (Schweden) und POSIVA (Finnland) entwickeltes Endlagerkonzept für Kristallingesteine, das den Stand von Wissenschaft und Technik darstellt. Bei diesem Konzept soll der Einschluss der Radionuklide – abweichend vom ewG-Konzept /AKE 02/, /BMU 10/ – allein durch die technischen Barrieren Endlagerbehälter und Buffer in einem vertikalen Bohrloch gewährleistet werden.

Das modifizierte KBS-3-Konzept basiert auf der Endlagerung einer ca. 5 m langen, kupferummantelten Brennstabkokille in einem 11,5 m tiefen, vertikalen Bohrloch. Der Behälter ist im Bohrloch von einem Bentonitbuffer umgeben. Der Buffer wird durch ein Hartgesteinwiderlager oberhalb des Bohrlochs in Position gehalten, auch gegen einen Quelldruck des Bentonitbuffers. Wesentlich für die dauerhafte Einschlusswirkung ist die Korrosionsbeständigkeit der Behälter. Der umgebende Buffer soll den Lösungskontakt verzögern, das chemische Milieu günstig beeinflussen, an der Behälterwandung die Scherbewegungen im Gestein dämpfen und ggf. freigesetzte Radionuklide durch Sorption zurückzuhalten. Weitere geotechnische Barrieren im Grubengebäude dienen der Begrenzung von Lösungszutritten und der Vermeidung einer Erosion des Buffers.

Multipler ewG (“MewG”)

In dem Konzept ist der ewG ein Teil des Wirtsgesteins. Das Wirtsgestein bzw. Gebirgsbereiche des Wirtsgesteins müssen die funktionalen Eigenschaften des ewG

erfüllen, aber auch das Auffahren eines Endlagerbergwerks erlauben. Das Konzept des multiplen ewG stellt eine Anpassung des ewG-Konzepts dar, bei dem der Einschluss der Radionuklide durch mehrere Kristallinblöcke mit verheilten Klüften und sehr geringer hydraulischer Leitfähigkeit in Kombination mit geotechnischen Barrieren gewährleistet wird. In den Kristallinblöcken werden sowohl die Einlagerungsbereiche angelegt als auch die geotechnischen Verschlussysteme eingebaut. Behälter sind Teil des redundanten und diversitären Barrierensystems.

Das Endlagerkonzept basiert auf der Bohrlochlagerung von mit Kupfer ummantelten Brennstabkokillen in vertikalen, verrohrten Bohrlöchern. Die Stärke des Kupfermantels kann tendenziell geringer sein als im modifizierten KBS-3-Konzept (s. o.). Auf einen Buffer im Bohrloch wird verzichtet, stattdessen wird es mit Sand aufgefüllt und ein Bohrlochverschluss aus Bentonit mit Widerlager eingebaut. In den Bohrlöchern schützt ein Stahl liner den Behälter und seine Kupferhülle (und erleichtert eine Rückholung). Der mit Sand gefüllte Ringraum zwischen Kokille und Liner dämpft die Gebirgsbewegungen, z. B. an Klüften bei Spannungsänderungen, und verhindert Kontaktkorrosion zwischen Behälter und Liner.

Bei der Streckenlagerung sollen CASTOR®-Behälter eingelagert und mit einem Buffer umgeben werden.

Einlagerungsbereiche werden durch langzeitstabile Verschlussbauwerke verschlossen. Weitere geotechnische Barrieren im Grubengebäude dienen der Begrenzung von Lösungszutritten und -bewegungen.

Überlagernder ewG

In diesem Konzept bildet das Wirtsgestein nicht den ewG. Der ewG wird durch eine großräumige horizontale Überlagerung oder einen teilweisen Einschluss z. B. durch tektonische Strukturen (Sättel, aufgewölbte Schichten über Intrusionen) aus Gesteinen mit geringer hydraulischer Leitfähigkeit, wie Salz und Ton, gebildet. Diese bilden den überlagernden ewG, der zusammen mit redundanten und diversitären Verschlüssen der Tageszugänge die Rückhaltung der Radionuklide gewährleistet. Den Behältern wird hier keine langfristige Einschlussfunktion zugewiesen; sie dienen ausschließlich dem Transport und der Bergbarkeit über 500 Jahre.

Das Endlagerkonzept basiert auf der Streckenlagerung von POLLUX®- und CASTOR®-Behältern. Die Behälter liegen auf Bentonit-Auflagern und sind von Bentonit als Buffer umgeben. MOSAIK®-Behälter mit BE-Strukturteilen werden in Einlagerungskammern gestapelt und die Hohlräume mit Beton verfüllt. Die Verfüllung weiterer Grubenräume mit tonigem Material soll Lösungsbewegungen begrenzen und Radionuklidtransport verzögern.

3.3.4 Endlagerbehälter für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle und ausge- diente Brennelemente

Endlagerbehälter für das modifizierte KBS-3-Konzept

Bei diesem Einlagerungskonzept sollen die ausgedienten Brennelemente und auch alle anderen radioaktiven Abfälle in Kokillen mit Kupfermantel eingelagert werden. In der Abb. 3.17 ist der Behälter des KBS-3-Konzepts dargestellt.

Ähnliche Behälter auf der Basis von BSK werden für die vertikale Bohrlochlagerung im Kristallingestein angenommen, siehe Abb. 3.9. Die BSK sind mit einer 5 cm starken Hülle aus Kupfer ummantelt (BSK-Cu). Es handelt sich um nicht hinreichend abgeschirmte Behälter, so dass für deren Handhabung und Transport Transferbehälter gebraucht werden. Die Endlagerbehälter BSK-Cu bilden die wesentliche Barriere für den sicheren Einschluss der Radionuklide in vertikalen Bohrlöchern.

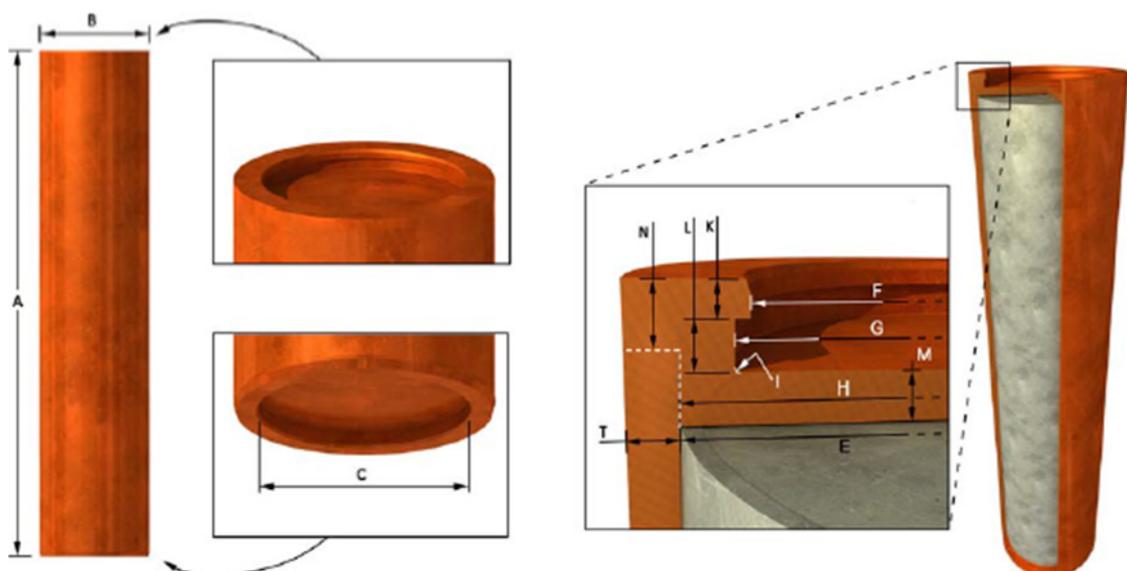


Abb. 3.17 Behälter des modifizierten KBS-3-Konzepts nach /POS 16/, mit einer Nut für die Einlagerungsvorrichtung

Endlagerbehälter für das Konzept „multipler ewG“

Beim Konzept „MewG“ ist vorgesehen, ausgediente Brennelemente aus den Leistungsreaktoren, Strukturteile der Brennelementkonditionierung und radioaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung mit rückholbaren Kokillen in vertikale Bohrlöcher einzulagern (BSK-RCu). Ausgediente Brennelemente aus Versuchs- und Prototyp-Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren sollen mit CASTOR®-Behältern in Strecken eingelagert werden.

Da der langzeitsichere Einschluss der Radionuklide nicht nur durch Behälter sondern auch durch das Wirtsgestein in Kombination mit technischen Barrieren gewährleistet wird, werden diese Behälter BSK-RCu nur mit einer 5 mm starken Kupferschicht ummantelt. Es handelt sich um nicht hinreichend abgeschirmte Behälter für dessen Handhabung und Transport Transferbehälter gebraucht werden.

Die Brennelemente bzw. -stäbe aus den Versuchs- und Prototyp-Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren sollen wie bei der Streckenlagerung in CASTOR®-Behältern der Typen THTR/AVR, KNK und MTR 2 endgelagert werden. Diese CASTOR®-Behälter haben eine Zulassung für Transport und Zwischenlagerung von ausgedienten BE; die Eignung der Behälter für die Endlagerung wäre noch nachzuweisen. Die CASTOR®-Behälter werden mit einem 5 mm starken Kupferbehälter umgeben. Das ist mit einem Tagzapfen nicht möglich, weshalb diese entfernt werden. Die Handhabbarkeit dieser Abfallgebinde ohne Tragzapfen ist noch zu zeigen /TEC 17b/.

Endlagerbehälter für das Konzept des überlagernden ewG

Beim Konzept „überlagernder ewG“ ist vorgesehen, die ausgedienten Brennelemente aus den Leistungsreaktoren und die radioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung in POLLUX®-Behälter sowie die ausgedienten Brennelemente aus Versuchs- und Prototyp-Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren in CASTOR®-Behältern einzulagern. Strukturteile von ausgedienten BE aus den Leistungsreaktoren werden in MOSAIK®-Behälter verpackt. Auf langzeitigen Korrosionsschutz wird verzichtet.

3.3.5 Einlagerungskonzepte

Beim Konzept „multipler ewG“ liegen die einzelnen ewG in unterschiedlichen Teufen. Die Transportstrecken zwischen den ewG sind demnach geneigt und benötigen eine spezielle Transporttechnik. In geneigten Strecken sind Zahnrad- oder Seilbahnen vorgesehen. Querschläge, Einlagerungs- und Bohrlochüberfahrestrecken sind dagegen weitgehend horizontal. Auch Richtstrecken sind, soweit möglich, söhlig. Die horizontale und geneigte Transporttechnik unterscheiden sich vor allem bzgl. der Zugfahrzeuge.

Die Transporttechnik der Konzepte mit vertikaler Bohrlochlagerung im Kristallingestein basiert auf der Technik für diese Einlagerung im Steinsalz, vgl. Kapitel 3.2.4. Es ist möglich, den gesamten Personenverkehr und Materialtransport über automobilen Transport abzudecken. Mit Radladern und Schwerlastkraftwagen kann Abraum aus dem diskontinuierlichen Sprengvortrieb, der die Vorzugsvariante zur Auffahrung in dem Konzept darstellt, gefördert werden. Die Förderung nach übertage erfordert entweder einen Bunker am Schacht oder erfolgt direkt über eine Rampe.

Im Gegensatz zur Transporttechnik unterscheidet sich die Einlagerungstechnik der Konzepte. Während das modifizierte KBS-3-Konzept und das Konzept des multiplen ewG im Wesentlichen die vertikale Bohrlochlagerung nutzen, erfolgt im Konzept des überlagernden ewG vor allem die Streckenlagerung. Aus dem Grund wird die Einlagerungstechnik für die Konzepte getrennt beschrieben.

Einlagerungstechnik im modifizierten KBS-3-Konzept

Die Einlagerungstechnik der vertikalen Bohrlochlagerung im Kristallingestein basiert auf der Technik für die Einlagerung im Steinsalz. Die notwendigen Anpassungen an veränderte Randbedingungen für das modifizierte KBS-3-Konzept betreffen das höhere Gewicht der Gebinde aufgrund der Kupferummantelung und den Greifer am Kokillenkopf, siehe Abb. 3.17.

Die Bohrlochschleuse sorgt für die Verriegelung des Transferbehälters und garantiert dessen Positionierung. Ein Bohrlochkeller, der die Bohrlochschleuse aufnimmt und die Drehung des Transferbehälters in die Vertikale ermöglicht, ist vorgesehen.

Einlagerungstechnik im Konzept des multiplen ewG

Geringe Unterschiede zur Einlagerungstechnik des modifizierten KBS-3-Konzepts ergeben sich aus dem leichteren Abfallgebinde aufgrund der dünneren Kupferhülle.

Für die Einlagerung der kupferummantelten CASTOR[®]-Behälter wird das Konzept der Streckenlagerung für POLLUX[®]-Behälter verfolgt, siehe Kapitel 3.2.3. Diese Einlagerungstechnik kann prinzipiell auch für die CASTOR[®]-Behälter eingesetzt werden.

Einlagerungstechnik im Konzept mit überlagerndem ewG

Die Einlagerungstechnik basiert auf dem Konzept der Streckenlagerung im Steinsalz für POLLUX[®]-Behälter, siehe Kapitel 3.2.3. Berücksichtigt werden die Anpassungen für die Rückholbarkeit gemäß /TEC 14/ und /TEC 18b/.

3.3.6 Verfüll und Verschlusskonzepte

In Abb. 3.18 sind die Barrieren der verschiedenen Endlagerkonzepte im Wirtsgestein Kristallin zusammengefasst: rot markiert sind einschlusswirksame Barrieren, die Ausbreitung von Schadstoffen entscheidend behindern und verzögern sollen und somit den sicheren Einschluss gewährleisten.

Einschluss durch	Mod. KBS-3 Konzept	Multipler ewG	Überlagernder ewG
Abfallgebinde	Einschlusswirksam für 1 Mio. Jahre	Teil des redundant-diversitären Barrierensystems	Bergbarkeit
Buffer	Schutz des Abfallgebundes für 1 Mio. Jahre	-	Strömungsbarriere zur Sicherstellung der Bergbarkeit
Widerlager	Fixierung des Buffers für 1 Mio. Jahre	Fixierung des Bohrlochverschlusses für 1 Mio. Jahre	-
Bohrlochverschluss	-	Teil des redundant-diversitären Barrierensystems	-
Streckenverschluss	Strömungsbarriere während Betriebsphase	Teil des redundant-diversitären Barrierensystems	-
Verfüllmaterial	Strömungsbarriere für 1 Mio. Jahre	Strömungsbarriere für 1 Mio. Jahre	Nur stützender Versatz
Schacht-/Rampenverschluss	Strömungsbarriere, Schutz des untertägigen Verfüll- und Verschlussystems für die ersten 50.000 Jahre	Strömungsbarriere, Schutz des untertägigen Verfüll- und Verschlussystems für die ersten 50.000 Jahre	Redundant-diversitäres Barrierensystem im Schacht- bzw. Rampenverschluss

Abb. 3.18 Grundlegende einschlusswirksame Aspekte der Verfüll- und Verschlusskonzepte im Kristallingestein, in Anlehnung an /TEC 17b/

3.4 Funktionen der Endlagerkomponenten für die Betriebssicherheit

Aus dem Regelwerk leiten sich kerntechnische, bergbau- und betriebssicherheitliche Anforderungen ab, die im Konzept des Endlagerbergwerks und in betrieblichen Regelungen bzw. technischen Maßnahmen umgesetzt werden müssen. Diese Regelungen und ihre Umsetzung sind weitgehend allgemein gültig und nicht vom Wirtsgestein bzw. vom Endlagerkonzept abhängig. Während des Auffahrens, Betriebs und Verschlusses eines Endlagerbergwerks bestehen hohe Anforderungen an die Sicherheit und den Strahlenschutz. Dies bedarf auch technischer Maßnahmen.

Das Endlagerbergwerk wird in verschiedene Funktionsbereiche (Schächte/Rampen, Infrastruktur, Einlagerung) sowie bzgl. des Strahlenschutzes in Überwachungs- und Kontrollbereiche gegliedert. Eine ausführlichere Beschreibung erfolgt in Kapitel 5. Jeder Funktionsbereich besteht aus Komponenten die Funktionen erfüllen müssen. Die Funktionen beeinflussen die Rahmenbedingungen und Entwicklung eines Endlagerbergwerks. Nachfolgend werden Funktionen und technische Maßnahmen aufgelistet, welche für die Ableitung der Einwirkungen von Innen (EVI) im Vorhaben BASEL unterstellt wurden.

In Tab. 3.1, Tab. 3.2 und Tab. 3.3 werden für die Funktionsbereiche der Einlagerung, der Infrastruktur (Grubenbaue) und Schächte/Rampen die technischen Maßnahmen und deren Funktionen für die Gewährleistung der Sicherheit genannt – abhängig vom potenziellen Wirtsgestein. Es wird darauf verwiesen, wenn eine Funktion ausschließlich auf die mögliche Rückholbarkeit der Abfallgebinde zurückzuführen ist. Letztlich wird auf allgemeingültige oder spezifische Anforderungen für eine Maßnahme hingewiesen.

Tab. 3.1 Maßnahmen und Sicherheitsfunktionen in Einlagerungsbereichen

Technische Maßnahme	Sicherheitsfunktionen	Wirtsgestein	Rückholbarkeit	Anforderung
Ausbau Querschlag, Bohrlochüberfahrungsstrecke, Einlagerungsbereiche	Arbeitsschutz (Vermeidung von Steinschlag), Konturstabilisierung	Kristallin, Tonstein, Steinsalz		Allgemein-gültig
Ausbau vertikales Bohrloch	Rückholung der Gebinde, Konturstabilisierung, Lagestabilisierung Gebinde, Verzögerung/Begrenzung der Lösungszuflüsse, Rückhaltung freigesetzter Schadstoffe aus Behältern mit unerkannten Defekten	K, T, S	Rückholung	Spezi-fisch
Bohrlochverschluss	Konturstabilisierung, Verhinderung/Begrenzung von Fluidbewegungen, Rückhaltung freigesetzter Schadstoffe aus Behältern mit unerkannten Defekten	K, T		A
Ausbau horizontales Bohrloch	Rückholung der Gebinde, Konturstabilisierung, Verzögerung/Begrenzung der Lösungszuflüsse	S	R	S A
Bohrlocheinbauten, Schlitten	Einlagerung der Abfallgebinde	S	R	A
technische Einrichtungen	Arbeitsschutz	K, T, S		A
Lösung	Aufsättigung der Buffer, Versatz, Verschlüsse aus Bentonit	K, T		S
Versatz	Konturstabilisierung, Flammensperre	K, T, S		A
Buffer	Konturstabilisierung, Strahlenschutz, Rückhaltung freigesetzter Schadstoffe aus Behältern mit unerkannten Defekten	K, T		A
Verschluss Erkundungs- und Überwachungsbohrungen	Verhinderung/Begrenzung von Lösungszuflüssen bzw. Freisetzung kontaminierter Lösung	K, T, S		S
Verschlussbauwerke	Konturstabilisierung, Verhinderung/Begrenzung von Fluidbewegungen, Rückhaltung freigesetzter Schadstoffe aus Behältern mit unerkannten Defekten	K, T, S		S
Endlagergebände, Transferbehälter	Strahlenschutz, Einschluss radioaktiver Stoffe	K, T, S	R	A

Tab. 3.2 Maßnahmen und Sicherheitsfunktionen in Grubenbauen (außerhalb der Einlagerungsbereiche)

Technische Maßnahme	Sicherheitsfunktionen	Wirtsgestein	Rückholbarkeit	Anforderung
Ausbau Strecken	Arbeitsschutz, Konturstabilisierung	Kristallin, Tonstein,		Allgemeingültig
Ausbau Infrastrukturbereiche	Arbeitsschutz, Konturstabilisierung	K, T, Steinsalz		A
technische Einrichtungen	Arbeitsschutz	K, T, S		A
Lösung	Aufsättigung Versatz und Verschlüsse aus Bentonit	K, T		Spezifisch
Versatz	Konturstabilisierung, Flammensperre	K, T, S		A
Verschluss Erkundungs- und Überwachungsbohrungen	Verhinderung/Begrenzung von Lösungszuflüssen bzw. Freisetzung kontaminierter Lösungen	K, T, S		S
Streckenverschlüsse	Konturstabilisierung, Verhinderung/Begrenzung von Fluidbewegungen, Rückhaltung freigesetzter Schadstoffe aus Behältern mit unerkannten Defekten	K, T, S		S
Verschlüsse der Störungszonen	Verhinderung von starken Lösungszuflüssen	K, T		S
Endlagergebäude, Transferbehälter	Arbeitsschutz, Strahlenschutz, Einschluss radioaktiver Stoffe	K, T, S		S

Tab. 3.3 Maßnahmen und Sicherheitsfunktionen in Schächten bzw. Rampen

Technische Maßnahme	Sicherheitsfunktionen	Wirtsgestein	Rückholbarkeit	Anforderung
Ausbau	Arbeitsschutz, Konturstabilisierung, Begrenzung von Lösungszuflüssen	Kristallin, Tonstein Steinsalz (Deckgebirge)		Allgemeingültig
Einbauten	Arbeitsschutz	K, T, S		A
Lösung	Aufsättigung Verschlüsse aus Bentonit	K, T		Spezifisch
Verschluss Erkundungs- und Überwachungsbohrungen	Verhinderung/Begrenzung von Lösungszuflüssen	K, T, S		S
Verschlüsse	Verhinderung/Begrenzung von Lösungszuflüssen	K, T, S		S
Endlagergebäude, Transferbehälter	Arbeitsschutz, Strahlenschutz, Einschluss radioaktiver Stoffe	K, T, S		S

4 Kurzbeschreibung der Tagesanlagen

Die nachfolgende Kurzbeschreibung der Tagesanlagen fasst die wichtigen Aspekte der Tagesanlagen für das Vorhaben BASEL zusammen. Eine umfassende Beschreibung der Tagesanlagen enthält /TEC 19/. Die Tagesanlagen umfassen alle Einrichtungen über Tage, die für den Bau und Betrieb eines Endlagerbergwerkes erforderlich sind. Wesentliche Funktionen der Tagesanlagen sind Annahme, Entladung und Pufferung von Endlagerbehältern sowie Transport der Endlagerbehälter zum Schacht bzw. zur Rampe.

Im Rahmen der Analyse der Langzeitsicherheit und insbesondere der Auswirkungen der betrieblichen Abläufe auf die Langzeitsicherheit müssen neben den Abläufen unter Tage auch die übertägigen Abläufe betrachtet werden. Damit dies annähernd vollständig erfolgen kann, wird im Rahmen dieses Forschungsvorhabens ein generisches Modell der übertägigen Anlagen erstellt. Hierfür werden zunächst die Unterschiede in den übertägigen Anlagen abhängig vom Wirtsgestein und der Einlagerungsmethode betrachtet. Dabei werden bekannte Endlagerkonzepte und Entwürfe zu deren Tagesanlagen berücksichtigt.

An Tagesanlagen des Endlagers werden im Vergleich zu konventionellen Bergwerken besondere Ansprüche gemäß gesetzlichen Vorschriften, Normen und Regelwerken gestellt. Dazu zählen u.a. das Bundesberggesetz und das nachgeordnete Wasserrecht, das Atomgesetz, das Strahlenschutzgesetz und die Strahlenschutzverordnung sowie Regelwerke des kerntechnischen Ausschusses und Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmentwickelnder radioaktiver Abfälle /BMU 10/, /BMU 20/.

Die allgemeinen Funktionen der Tagesanlagen sind

- Gewährleistung der sicheren Errichtung sowie des Betriebes und Verschlusses des Endlagers von über Tage,
- Abfallannahme und Prüfung der Einhaltung von Annahmekriterien (Dosismessung, Kontaminationsprüfung, Prüfung des Behälters auf Beschädigung, Korrosion, Dichtheit des Doppeldeckeldichtsyste.ms und der Begleitpapiere,
- Abfallvorbereitung zur Einlagerung bzw. Umladen,
- Pufferung von Endlagergebinden und leeren Transferbehältern,
- Reparatur defekter Behälter in der „Heißen Zelle“,

- Transport von Endlagergebinden zum Schacht bzw. zur Rampe,
- Physischer Schutz und *safeguards*-Maßnahmen,
- sanitäre und soziale Einrichtungen für Personal und Administration,
- Annahme, Lagerung und Versorgung von(mit) Baumaterialien, Ausrüstungen und Betriebsmitteln,
- Wartung und Reparatur von Infrastruktur und technischen Einrichtungen,
- Konventionelle und radiologische Laboratorien,
- Gruben- bzw. Feuerwehr,
- Notfallenergieversorgung,
- Umschlag von Haufwerk und betrieblichen Abfällen,
- Bewetterung des Bergwerks (Frischlufthversorgung, Abluftverteilung),
- Besucherinformation und -betreuung.

Da nicht alle Tagesanlagen kerntechnische Funktionen übernehmen, wird nach den Anforderungen des Atomrechts in der Planung eine Abgrenzung zwischen kerntechnischen Anlagen und solchen, die konventionelle oder bergtechnische Aufgaben erfüllen, vorgenommen. Die wesentlichen Funktionen der kerntechnischen und konventionellen Bereiche sind in Tab. 4.1 und Tab. 4.2 zusammengefasst. Die Tagesanlagen sind für alle Endlagertypen und Wirtsgesteine grundsätzlich gleich. Spezifische Unterschiede ergeben sich bei der Ausstattung und Dimensionierung der einzelnen Anlagenteile.

In den Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle /BMU 10/ sind bei der Auslegung des Endlagers an der Tagesoberfläche Entscheidungen im Hinblick auf Optimierungen unter Berücksichtigung von Strahlenschutz für die Betriebsphase, Betriebssicherheit des Endlagers, Sicherheitsmanagement, Langzeitsicherheit, Zuverlässigkeit und Qualität des langfristigen Einschusses der Abfälle sowie der technischen und finanziellen Realisierbarkeit zu treffen.

Tab. 4.1 Kerntechnische Tagesanlagen und deren Funktionen

Anlage bzw. Gebäude	Hauptfunktion
Trocknungshalle	Befreiung der Transporthaube von Feuchtigkeit, Schnee, orientierende Ortsdosisleistungsmessung, Kontaminationskontrolle
Umschlagsanlage inkl. Eingangslager	Annahme, Entladen und Kontrolle der Endlagergebände, Pufferung der Endlagergebände und kurze Zwischenlagerung der Endlagerbehälter bis zur Einlagerung, Umladen auf innerbetriebliche Transportmittel
Bereich für Sonderbehandlungen („Heiße Zelle“)	Dekontamination von gelieferten Endlagergebänden sowie von aus der Grube rückgeführten Transferbehältern und Endlagergebänden
Dekontamination	ggf. Dekontamination von Transportwagen
Bereitstellungs- und Transporthalle	Übergabe der Endlagergebände vom Eingangslager zur Schachtförderanlage
Schachthalle Schleuse	Zugang zum Schacht
Förderschacht, Rampe (ausziehende Wetter)	Transport von Endlagergebänden in das Bergwerk
Werkstatt	mechanische und elektrische Wartung und Reparatur
Lüftung Tagesanlagen	Lüftungstechnik für Umschlagsanlage
Lüftung Bergwerk inkl. Diffusor (ausziehende Wetter)	Lüftungstechnik für Erzeugung des Wetterstroms, Filteranlagen
Abwetterkanal	Verbindung ausziehender Schacht und Lüftergebäude
Strahlenschutzlabor	Auswertung Wischtests (Kontamination), betriebliche Strahlenschutzüberwachung inkl. Personen-, Wasser- und Wetterkontrolle, Überwachung der Betriebsfälle
Grubenwasserübergabestation	Kreislauf aus Kontrollbereich
Personalbereich	Personalzugang mit Zutritts- und Ausgangskontrolle, Strahlenschutzkontrolle, Umkleieräume, sanitäre Einrichtungen
Sammelstelle für Betriebsabfälle	Sammlung, Behandlung und Konditionierung fester und flüssiger radioaktiver Betriebsabfälle
Eisenbahnanschluss	Verkehrswege für Waggons

Tab. 4.2 Konventionelle Tagesanlagen und deren Funktionen

Anlage bzw. Gebäude	Hauptfunktion
zentrale Kühlanlage mit Wärmetauschern	Kälteerzeugung für untertägige Kühlung
Technikbereich	Energie- und Medienversorgung, Leittechnik, Lüftungszentrale
Zuluftgebäude	Wetterführung
Wache, Pfortnergebäude	Zugangskontrolle, Wachschatz
Kauengebäude	Umkleieräume, sanitäre Einrichtungen
Büro-, Sozialgebäude	Verwaltung, Kantine
Materiallager, Gerätehalle	Materialversorgung
Werkstatt	Wartung und Reparatur
Treibstofflager	Betriebsmittelversorgung
Energieversorgung	Energieversorgung und -übergabe
Wasserstation	Brauchwasser Entsorgung bzw. Aufbereitung von Grubenwasser (Überwachungsbereich)
Wetterstation	Umgebungsüberwachung
Labor mit Bohrkernlager	Untersuchung von Gesteinen, Bau- und Versatzstoffen
Serviceschacht (einziehende Wetter)	Personal- und Materialtransport
Lagerbereich Seilwechsel	Friktionswinde
Waschhalle	Fahrzeugreinigung
Haufwerkstransporteinrichtungen	Übergabe von Haufwerk aus Bergwerk am Schacht, Transport zur Halde
Halde	Lagerung bzw. Entsorgung von Haufwerk aus Bergwerk
Versatzaufbereitung	Vorbereitung von Versatzmaterial
Baustoffanlage	Herstellung von Baustoff für Sicherungsmaßnahmen
Baustofflager	Materialversorgung
Bahn- und/oder Straßenanschluss	Verkehrswege außerhalb des Kontrollbereiches
Gruben- bzw. Feuerwehr, Krankenstation	Einsatzbereitschaft für Notfallsituationen

Bezüglich der Lage und Gestaltung der überörtigen Anlagen sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Lage und Abmessungen des einschusswirksamen Gebirgsbereiches unter Berücksichtigung einer vorläufigen Planung der Behälter, der Einlagerungstechnik und -geometrie,
- Positionierung und technische Ausführung der Schächte bzw. Rampen sowie der Infrastrukturstrecken,
- Einlagerungskonzept, u. a. Anordnung, Handhabung und Kontrolle der Gebinde,
- Stilllegungs- und Verschlussmaßnahmen.

Tagesanlagen für unterschiedliche Endlagerkonzepte und Wirtsgesteine sind bspw. in /DBE 98/, /NMU 02/, /POS 06/, /TEC 10b/, /GRS 11/ dokumentiert. Die Tagesanlagen für den Standort Gorleben werden mit den nachfolgenden Abbildungen kurz skizziert. Konzepte für Tagesanlagen eines Endlagers wurden für das geplante Tiefenlager in der Schweiz /NAG 19/ und für potenzielle Endlagerstandorte in Frankreich /AND 19/ veröffentlicht.

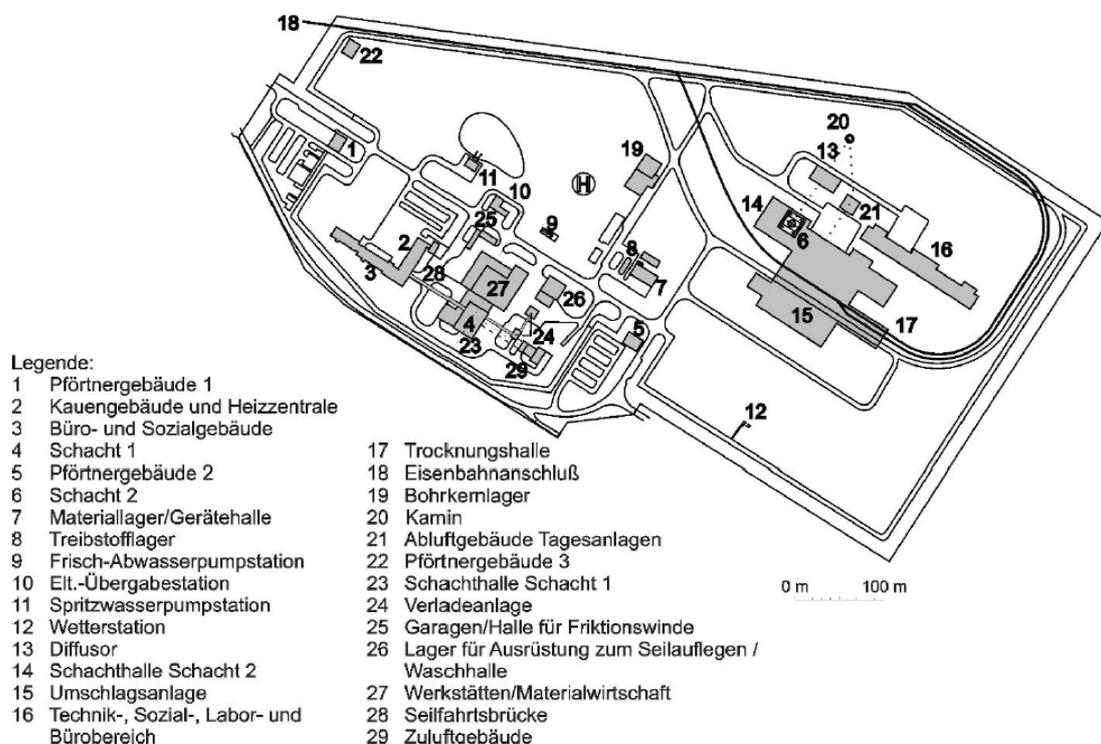


Abb. 4.1 Geplante Tagesanlagen am Standort Gorleben gemäß /GRS 11/

Die Umschlagsanlage bildet den zentralen Bereich der kerntechnischen Anlage; hier beginnt der radiologische Kontrollbereich, an den sich die Schachthalle mit dem Schacht anschließt (vgl. Abb. 4.1). Der schematische Aufbau einer Umschlagsanlage wird in Abb. 4.2 gezeigt. Die Umschlagshalle umfasst die Trocknungs-, Entlade- und Pufferhalle sowie die Dekontamination, "Heiße Zelle", Werkstatt und das Pufferlager. Die Transport- und Bereitstellungshalle bildet die verkehrstechnische Verbindung zur Schachthalle.

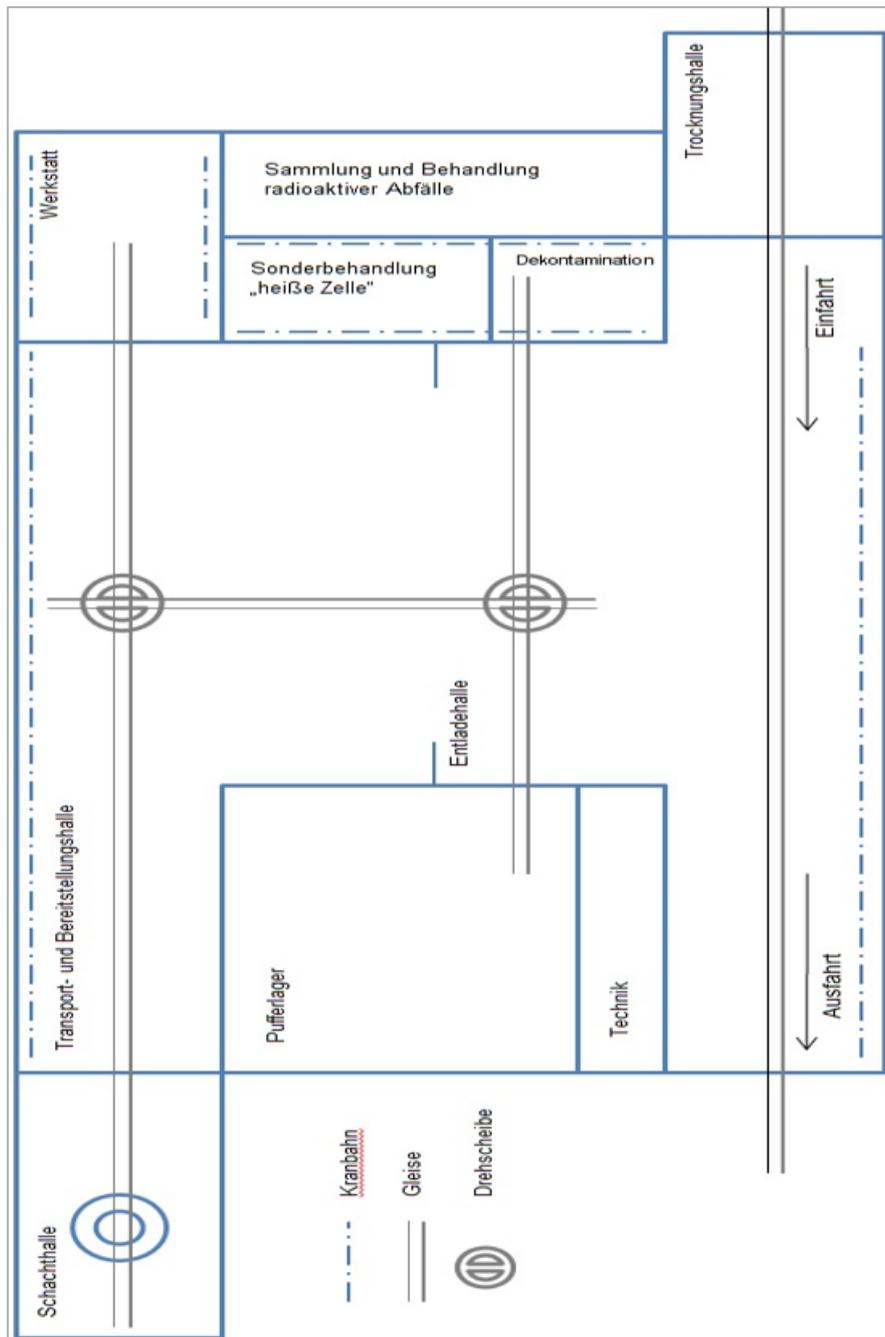


Abb. 4.2 Schematischer Aufbau der Umschlagsanlage gemäß /GRS 11/

5 Verknüpfung betrieblicher Maßnahmen und Langzeitsicherheit

Die technischen Maßnahmen für die Gewährleistung der Bergbau- und Betriebssicherheit beim Bau, Betrieb und Verschluss eines Endlagerbergwerks beeinflussen das Endlagersystem. Die Einflüsse sollen das Endlagersystem nach dem Verschluss des Bergwerkes, d. h. die Langzeitentwicklung und Langzeitsicherheit, nicht in ungünstiger Weise beeinträchtigen. Ebenso sollen die sicherheitstechnischen Maßnahmen für die Gewährleistung der Langzeitsicherheit des Endlagers den Bau und Betrieb des Endlagerbergwerks nicht beeinträchtigen. Im Safety Case sollen Widersprüche zwischen der Betriebssicherheit des Bergwerks und der Langzeitsicherheit des Endlagers vermieden oder abgewogen werden.

Einerseits können die technischen Maßnahmen beim Bau und Betrieb des Endlagerbergwerks auf die Langzeitsicherheit des Endlagers einwirken. Die Betriebsphase endet erst, wenn das Endlager vollständig verschlossen ist. Während des Betriebes des Bergwerks sind daher bereits einige mit Abfällen befüllte Einlagerungsbereiche jahrelang abgeworfen, so dass Prozesse wie die Gasbildung oder Mobilisierung von Radionukliden – die in der Nachverschlussphase von Bedeutung sind – schon während des Betriebs ablaufen und so auch schon Bedeutung in der Betriebsphase erlangen können. Im Vorhaben BASEL wird daher das Endlagersystem in der Betriebsphase umfassend beschrieben und Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit werden bewertet. Hierzu wurde eine Liste von Merkmalen bzw. Zuständen, Ereignissen und Prozessen für die Betriebsphase identifiziert, siehe Anhang A. Diese Liste umfasst sowohl FEP zum Betrieb des Endlagers als auch solche zur Entwicklung abgeworfener Einlagerungsbereiche. Die Dokumentation der FEP betrachtet verschiedene Bereiche des Bergwerks separat:

- Tagesanlagen (Anhang A1),
- Schacht und Rampe (Anhang A2),
- Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche (Anhang A3) und
- Einlagerungsbereiche (Anhang A4).

Die Zuordnung der Komponenten in diesen Teilsystemen ist in Abb. 5.1 dargestellt. Schacht und Rampe bilden die Schnittstellen zwischen Tagesanlagen und Bergwerk. Die Schacht- bzw. Rampenförderanlagen sind hier Teil der Tagesanlagen, während fest eingebaute Komponenten der Schächte und Rampen dem Grubenbereich

„Schacht und Rampe“ zugeordnet werden. In Füllrörtern werden Transportgüter aus Schächten und Rampen für den untertägigen Transport umgeladen (Portalkran). Füllörter werden dem Grubenbereich „Schacht und Rampe“ zugeordnet.

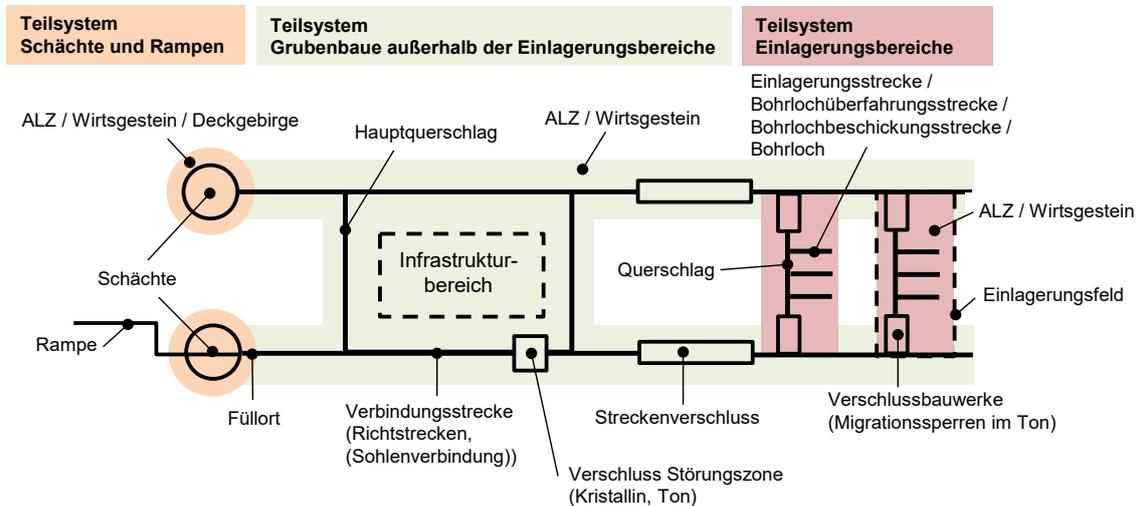


Abb. 5.1 Teilbereiche des generischen Endlagerbergwerks

Die **FEP-Tabellen Betriebsphase** im Anhang A beginnen mit dem Namen und der Kurzbeschreibung eines FEP; es folgen eine Aufzählung möglicher Auswirkungen auf die Entwicklung in der Nachverschlussphase und eine Einschätzung der Relevanz für die Langzeitsicherheit. Die Einschätzung wird kurz erläutert bzw. begründet. Die Aufzählung der Auswirkungen erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit – aufgrund des generischen Charakters der Untersuchungen.

Aufgrund dieser umfassenden FEP-Liste wurden dann Einwirkungen von Innen (EVI) auf das Endlagersystem systematisch abgeleitet. Für jeden der o. g. Teilbereiche des Endlagerbergwerks wird geprüft, ob durch die Einwirkung eines Prozesses auf eine Komponente Abweichungen vom bestimmungsgemäßen Betrieb entstehen können, siehe Teilbericht zur Ableitung übergreifender Einwirkungen von Innen im Vorhaben BASEL.

Andererseits können sich aus den Standortbedingungen und -entwicklungen in der Nachverschlussphase Anforderungen für die Maßnahmen beim Bau und Betrieb des Bergwerks bzw. die Betriebssicherheit ergeben. Mögliche Auswirkungen werden in der FEP-Tabelle für die Nachverschlussphase im Anhang B aufgelistet. Die meisten für die Nachverschlussphase relevanten Prozesse laufen bereits während des Betriebes ab, haben aber in der Betriebsphase oft eine andere Ausprägung und/oder Relevanz als

für die Nachverschlussphase. Beispielsweise sind sehr langsam ablaufende und lang andauernde, geologische oder klimatische Prozesse in der kurzen Betriebsphase ohne Bedeutung, jedoch von hoher Bedeutung in der Nachverschlussphase. Aufgrund der Ausprägung in der Nachverschlussphase können schon während der Betriebsphase technische Maßnahmen erforderlich werden, um einer nachteiligen Beeinflussung des Endlagersystems in der Nachverschlussphase vorzubeugen. Die FEP umfassen daher die Komponenten, die den initialen Zustand eines Endlagersystems in der Nachverschlussphase beschreiben, und die Prozesse, die die zukünftige Entwicklung des Endlagersystems langfristig und in relevanter Weise beeinflussen.

Die Gliederung der **FEP-Tabelle Nachverschlussphase** im Anhang B beginnt ebenfalls mit dem Namen und der Kurzbezeichnung für einen FEP. In der FEP-Tabelle wurden die FEP der generischen Endlagersysteme im Steinsalz, Tongestein und Kristallingestein dahingehend ausgewertet, welche Anforderungen sich aufgrund der Langzeitsicherheit an die Betriebsphase ergeben. Danach folgt die Nennung möglicher Maßnahmen in der Betriebsphase zur Reduzierung der Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit. Auswirkungen und Gegenmaßnahmen werden kurz erläutert und begründet. Die Auflistung der Auswirkungen und Gegenmaßnahmen erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit – aufgrund des generischen Charakters der Untersuchungen.

Gemäß den Sicherheitsanforderungen wird das Ziel eines sicheren Einschlusses von radioaktiven Abfällen durch einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich und/oder durch geotechnische und technische Barrieren erreicht /BMU 10/, /BMU 20/. Ein sicherer Einschluss bedarf grundsätzlicher Anforderungen für die Langzeitsicherheit:

- geeignetes geochemisches Milieu,
- geringe Durchlässigkeit der Barrieren,
- keine Bildung neuer Wegsamkeiten,
- geringe Gasbildung,
- allenfalls geringfügige Radionuklidmobilisierung,
- begrenzter Radionuklidtransport,
- mechanische Stabilität der Barrieren,
- chemisch-mineralogische Stabilität der Barrieren,
- Vermeidung einer kritischen Ansammlung.

Die nachfolgende Tab. 5.1 zeigt für die FEP der generischen Endlagersysteme im Steinsalz, Tongestein und Kristallingestein, welche Anforderungen aus der Langzeitsicherheit bestimmte Maßnahmen für den Bau und Betrieb eines Endlagers bedingen. In der ersten Spalte werden die Prozess-FEP aufgeführt, aus denen die Anforderungen direkt abgeleitet werden. Komponenten-FEP, die mit Prozess-FEP wechselwirken und aus denen sich in gleicher Weise die Anforderungen ableiten lassen, werden *kursiv* als Prozess-FEP aufgelistet. Die verschiedenen Verschlussbauwerke aus den einzelnen Konzepten (Streckenverschlüssen, Bohrlochverschlüsse, Migrationssperren etc.) sind nicht einzeln aufgeführt, sondern als FEP-Gruppe „Verschlussbauwerke“ angegeben. Regionale geologische FEP – wie Magmatismus, Erosion etc. – sind nicht aufgeführt, da ihre Ausprägung an einem Standort durch die Standortauswahl mit Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen sowie geowissenschaftlichen Abwägungskriterien minimiert bzw. ihr Einwirken ausgeschlossen wird. Durch Maßnahmen beim Bau und Betrieb eines Endlagerbergwerks lassen sich diese Prozesse nicht beeinflussen. Eine Ausnahme sind Erdbeben, für die nach dem kerntechnischen Regelwerk bei der Auslegung relevanten Komponenten ein Bemessungserdbeben zu berücksichtigen ist. Die für die Langzeitsicherheit essentielle Durchführung von Maßnahmen zur Qualitätssicherung (QS) beim Errichten technischer Einrichtungen, beim Einbau geotechnischer Barrieren, beim Erstellen von Ausbau und beim Stoßen von Erkundungsbohrungen sind nicht bei jedem FEP aufgeführt, sondern nur dort, wo es aus Sicht der Autoren besonders hervorzuheben ist.

Tab. 5.1 Ableitung von Maßnahmen für den Bau und Betrieb eines Endlagers aus den Anforderungen der Langzeitsicherheit

FEP bzw. FEP-Gruppe	Anforderung der Langzeitsicherheit	Maßnahmen beim Bau und Betrieb des Endlagers
Chemische Prozesse		
Metallkorrosion <i>Brennelementbehälter</i> <i>Sonstige Endlagerbehälter</i> <i>Bohrlochverrohrung</i> <i>Innenliner</i> <i>Streckenausbau</i> <i>Lösungen im Grubenbau</i> <i>Technische Einrichtungen</i>	geringe Gasbildung	Begrenzung der im Endlager verbleibenden Metallmengen Begrenzung der im Endlager verbleibenden Lösungsmengen QS Behälterherstellung, Behältermaterialien

FEP bzw. FEP-Gruppe	Anforderung der Langzeitsicherheit	Maßnahmen beim Bau und Betrieb des Endlagers
Metallkorrosion <i>Abfallmatrix</i> <i>Lösungen im Grubenbau</i>	allenfalls geringfügige Radionuklidmobilisierung	Begrenzung der im Endlager verbleibenden Lösungsmengen QS Behälterherstellung
Zersetzung von Organika <i>Brennelementbehälter</i> <i>Sonstige Endlagerbehälter</i> <i>Technische Einrichtungen</i> <i>Verschlußmaterialien</i> <i>Lösungen im Grubenbau</i>	geringe Gasbildung	Begrenzung der im Endlager verbleibenden Organika Begrenzung der im Endlager verbleibenden Lösungsmengen
Korrosion der Brennstoffmatrix <i>Abfallmatrix</i> <i>Buffer</i> <i>Lösungen im Grubenbau</i>	allenfalls geringfügige Radionuklidmobilisierung	Begrenzung der im Endlager verbleibenden Lösungsmengen Stabilisierung des geochemischen Milieus durch einen Buffer QS Behälterherstellung
Korrosion von Glas <i>Abfallmatrix</i> <i>Buffer</i> <i>Lösungen im Grubenbau</i>	allenfalls geringfügige Radionuklidmobilisierung	Begrenzung der im Endlager verbleibenden Lösungsmengen Stabilisierung des geochemischen Milieus durch einen Buffer QS Behälterherstellung
Korrosion von Materialien mit Zement- oder Sorelphasen <i>Ausbau</i> <i>Technische Einrichtungen</i> <i>Verschlußmaterialien</i> <i>Erkundungsbohrungen</i> <i>Lösungen im Grubenbau</i>	keine Bildung neuer Wegsamkeiten	Begrenzung der im Endlager verbleibenden Lösungsmengen QS Rezeptur und Design
Auflösung und Ausfällung <i>Versatz</i> <i>Verschlußmaterialien</i> <i>Lösungen im Grubenbau</i> <i>Gase im Grubenbau</i>	chemische Stabilität der Barrieren	Kompatibilitätsprüfung zwischen Baumaterialien und zutretenden Lösungen Standorterkundung Begrenzung der im Endlager verbleibenden Lösungsmengen
Deflagration und Detonation <i>Versatz</i> <i>Lösungen im Grubenbau</i> <i>Gase im Grubenbau</i>	mechanische Stabilität des Wirtsgesteins und der technischen sowie geotechnischen Barrieren	Begrenzung der verbleibenden gasbildenden Stoffe Begrenzung der im Endlager verbleibenden Lösungsmengen Verfüllung der Hohlräume

FEP bzw. FEP-Gruppe	Anforderung der Langzeitsicherheit	Maßnahmen beim Bau und Betrieb des Endlagers
Thermische Prozesse		
Wärmefluss <i>Radioaktive Abfälle</i> <i>Abfallmatrix</i> <i>Brennelementbehälter</i> <i>Sonstige Endlagerbehälter</i> <i>Buffer</i> <i>Verschlussmaterialien</i> <i>Versatz</i>	mechanische und chemische Stabilität des Wirtsgesteins und der technischen sowie geotechnischen Barrieren	Produktkontrolle Design von Barrieren (z.B. Abfallmatrix, Behälter, Buffer, Versatz) Behälterbeladung Thermische Endlagerauslegung (Grenztemperatur)
Thermische Expansion oder Kontraktion <i>Abfallmatrix</i> <i>Brennelementbehälter</i> <i>Sonstige Endlagerbehälter</i> <i>Buffer</i> <i>Verschlussmaterialien</i> <i>Versatz</i> ALZ	mechanische Stabilität des Wirtsgesteins und der technischen sowie geotechnischen Barrieren	Produktkontrolle Design von Barrieren (z.B. Abfallmatrix, Behälter, Buffer, Versatz) Thermische Endlagerauslegung (Grenztemperatur)
Mechanische Prozesse		
Konvergenz ALZ <i>Wirtsgestein</i> <i>Ausbau</i> <i>Versatz</i> <i>Verschlussbauwerke</i> <i>Buffer</i> <i>Bohrlochverrohrung</i>	mechanische Stabilität des Wirtsgesteins und der technischen sowie geotechnischen Barrieren	Ausbau der Grubenbaue Verfüllung der Grubenbaue

FEP bzw. FEP-Gruppe	Anforderung der Langzeitsicherheit	Maßnahmen beim Bau und Betrieb des Endlagers
Konvergenz <i>ALZ Wirtsgestein Streckenausbau Versatz Verschlussbauwerke Lösungen im Grubenbau Gase im Grubenbau</i>	begrenzter Radionuklidtransport ³	Ausbau der Grubenbaue Verfüllung der Grubenbaue Einlagerungsbereiche in Gesteinen mit hohen Konvergenzraten (nur Steinsalz)
Versatzkompaktion <i>Versatz Sandverfüllung Lösungen im Grubenbau Gase im Grubenbau</i>	geringe Durchlässigkeit geotechnischer Barrieren	Vermeidung / Entfernung eines geschlossenen Ausbaus in relevanten Bereichen vollständige Verfüllung der Grubenbaue geeignete Versatzrezepturen, z. B. quellfähige Materialien Zuschlagstoffe, Anfeuchten ⁴
Spannungsänderungen <i>alle Komponenten</i>	mechanische Stabilität des Wirtsgesteins und der technischen sowie geotechnischen Barrieren	Schonende Auffahrung Ausbau der Grubenbaue Verfüllung der Grubenbaue
Radiologische Prozesse		
Radioaktiver Zerfall <i>Radioaktive Abfälle Abfallmatrix Brennelementbehälter Sonstige Endlagerbehälter</i>	Vermeidung kritischer Ansammlungen	Produktkontrolle Beladung Verfüllung der Behälter
Radiolyse <i>Brennelementbehälter Sonstige Endlagerbehälter Abfallmatrix Sandverfüllung Innenliner Lösungen im Grubenbau Gase im Grubenbau</i>	chemische Stabilität des Wirtsgesteins und der technischen sowie geotechnischen Barrieren im Nahfeld	Beladung Verfüllung und Abschirmung der Behälter

³ Je nach Zustand des Endlagersystems kann der Einfluss der Konvergenz auf den Radionuklidtransport unterschiedlich sein: Sind noch transportrelevante, lösungsgefüllte Hohlräume vorhanden, kann die Konvergenz im Falle einer Radionuklidmobilisierung einen Antriebsmechanismus für einen Transport der Radionuklide darstellen. Für diesen Fall stellen Ausbau und Verfüllung der Grubenbaue Maßnahmen dar, die Konvergenz einzuschränken. Die Konvergenz schließt mit der Zeit aber auch die transportrelevanten Hohlräume, so dass der Radionuklidtransport zum Erliegen kommt. Es kann also auch eine sinnvolle Maßnahme sein, Einlagerungsbereiche in Gesteinen mit hohen Konvergenzraten aufzuschließen. Welche Maßnahmen man einsetzt, ist letztlich vom Sicherheitskonzept abhängig.

⁴ Insbesondere das Anfeuchten von Salzgrus wird als Maßnahme in Erwägung gezogen. Hier ist darauf zu achten, dass dadurch die Lösungsmengen nicht unzulässig erhöht werden.

FEP bzw. FEP-Gruppe	Anforderung der Langzeitsicherheit	Maßnahmen beim Bau und Betrieb des Endlagers
Mikrobielle Prozesse		
Mikrobielle Prozesse im Grubengebäude <i>Brennelementbehälter</i> <i>Sonstige Endlagerbehälter</i> <i>Buffer</i> <i>Verschlußmaterialien</i> <i>Versatz</i> <i>Lösungen im Grubenbau</i> <i>Gase im Grubenbau</i>	geringe Gasbildung	Begrenzung der im Endlager verbleibenden möglichen Nährstoffe Begrenzung der im Endlager verbleibenden Lösungsmengen Begrenzung des für Mikroben zur Verfügung stehenden Hohlraums Erhöhung der Temperatur im Endlager
Mikrobielle Prozesse im Grubengebäude <i>Brennelementbehälter</i> <i>Sonstige Endlagerbehälter</i> <i>Buffer</i> <i>Verschlußmaterialien</i> <i>Versatz</i> <i>Lösungen im Grubenbau</i>	chemische Stabilität der technischen und geotechnischen Barrieren	Begrenzung der im Endlager verbleibenden möglichen Nährstoffe Begrenzung der im Endlager verbleibenden Lösungsmengen Stabilisierung des geochemischen Milieus durch Buffer Begrenzung des für Mikroben zur Verfügung stehenden Hohlraums
Hydraulische Prozesse		
Lösungszutritt in das Grubengebäude <i>Gase im Wirtsgestein</i> <i>Lösungen im Wirtsgestein</i> <i>Kohlenwasserstoffvorkommen im Wirtsgestein</i> <i>ALZ</i> <i>Störungen und Klüfte im Wirtsgestein</i>	chemische Stabilität des Wirtsgesteins und der technischen sowie geotechnischen Barrieren	Vorerkundung bei der Auffahrung Lösungsdichter Ausbau Abdichtinjektionen (Er-)Fassung zutretender Fluide
Druckgetriebene Infiltration <i>Versatz</i> <i>Verschlußbauwerke</i> <i>Lösungen im Grubenbau</i> <i>Gase im Grubenbau</i> <i>ALZ</i> <i>Wirtsgestein</i>	keine Bildung neuer Wegsamkeiten	Begrenzung der verbleibenden gasbildenden Stoffe Schaffung von Speicherhöhlenräumen

FEP bzw. FEP-Gruppe	Anforderung der Langzeitsicherheit	Maßnahmen beim Bau und Betrieb des Endlagers
Transportprozesse		
Sorption und Desorption <i>Korrosionsprodukte</i> Buffer Versatz Verschlussmaterialien Lösungen im Grubenbau	begrenzter Radionuklidtransport	Verwendung von Dichtmaterialien mit guten Sorptionseigenschaften Stabilisierung des geochemischen Milieus Verwendung von Zuschlagstoffen
Kolloidbildung <i>Radioaktive Abfälle</i> Buffer Versatz Verschlussmaterialien Lösungen im Grubenbau	begrenzter Radionuklidtransport	Begrenzung der im Endlager verbleibenden kolloidbildenden Stoffe
Komplexbildung <i>Radioaktive Abfälle</i> Versatz Verschlussmaterialien Lösungen im Grubenbau	begrenzter Radionuklidtransport	Stabilisierung des geochemischen Milieus Begrenzung der im Endlager verbleibenden Komplexbildner
Advektion <i>Streckenausbau</i> Versatz Verschlussmaterialien Lösungen im Grubenbau Gase im Grubenbau	keine Bildung neuer Wegsamkeiten	Vermeidung / Entfernung eines geschlossenen Ausbaus in relevanten Bereichen Verfüllung der Grubenbaue

Zusammenfassend zeigt sich, dass bezüglich der Langzeitsicherheit grundsätzliche Anforderungen während Planung, Errichtung und Betrieb des Endlagers an folgende Komponenten bestehen:

- die Auslegung, Qualitätssicherung und Nachweis der Funktionalität von Verschlussbauwerken, Versatz und Buffer,
- die Auslegung, Qualitätssicherung und Produktkontrolle der Abfallgebinde,
- die verbleibenden Mengen von gasbildenden Stoffen (Metalle, Organika),
- die verbleibenden Mengen von Lösungen sowie
- einige im Endlager verbleibende Stoffmengen, vor allem bei Nährstoffen für Mikroben.

Neben diesen grundsätzlichen Anforderungen gibt es aus Sicht der Langzeitsicherheit in Abhängigkeit vom Wirtsgestein auch konkurrierende Anforderungen:

- die Notwendigkeit eines Ausbaus aufgrund hoher Spannungen zur Vermeidung der Erweiterung der ALZ im Gegensatz zu der Vermeidung/Entfernung eines Ausbaus zur Vermeidung potenzieller Wegsamkeiten oder Beeinflussungen des geochemischen Milieus,
- an die Verfüllung von Hohlräumen zur Stabilisierung der Grubenbaue und Behinderung von Transportprozessen im Gegensatz zu der Notwendigkeit der Schaffung von Speicher Hohlräumen für Fluide.

Diese konkurrierenden Anforderungen sind endlagersystemspezifisch zu diskutieren.

Literaturverzeichnis

- /AKE 02/ Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte: Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. Empfehlungen des AkEnd – Schlussbericht, Köln, 2002.
- /AND 05/ Dossier 2005 Argile Tome: Architecture and management of a geological repository. Technical report, Andra
- /AND 19/ <https://international.andra.fr/projects/cigeo/cigeos-facilities-and-operation/project-siting-and-facilities-overview>, 23.05.2019
- /BGR 05/ Reinhold, K.: Tiefenlage der Kristallin-Oberfläche in Deutschland, Abschlussbericht, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, BGR, Hannover/Berlin, 2005.
- /BGR 07/ Klinge, H., Boehme, J., Grisseemann, C., Houben, G., Ludwig, R.R., Rübél, A., Schelkes, K., Schildknecht, F. & Suckow, A.: Description of the Gorleben Site, Part 1: Hydrogeology of the Cover Rock of the Gorleben Salt Dome, Germany (nuclear waste disposal site candidate). Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover. German edition: Geologisches Jahrbuch C, Bd. C71, Hannover, 2007.
- /BGR 07b/ Köthe, A., Hoffmann N., Krull, P., Zirngast, M. & Zwirner, R.: Description of the Gorleben Site, Part 2: The geology of the Overburden and Adjoining Rock of the Gorleben Salt Dome, Germany (nuclear waste disposal site candidate).- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover. German edition: Geologisches Jahrbuch C, Bd. C72, Hannover, 2007.
- /BGR 08/ Bornemann, O., Behlau, J., Fischbeck, R., Hammer, J., Jaritz, W., Keller, S., Mingerzahn, G. & Schramm, M.: Description of the Gorleben Site, Part 3: Results of geological Exploration of the Salt Structure. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover. German edition: Geologisches Jahrbuch C, Bd. C73, Hannover, 2008.

- /BGR 11/ Bräuer, V., Eickemeier, R., Eisenburger, D., Grisse mann, C., Hesser, J., Heusermann, S., Kaiser, D., Nipp, H.K., Nowak, T., Plischke, J., Schnier, H., Schulze, O., Sönneke, J. & Weber, J.R.: Description of the Gorleben Site, Part 4: Geotechnical Exploration of the Gorleben Salt Dome. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, 2011.
- /BGR 16/ Weitkamp, A.: Machbarkeitsuntersuchung zur Entwicklung eines Sicherheits- und Nachweismethodik für ein Endlager im Kristallingestein (CHRISTA), Synthese Kristallinuntersuchungen, Task 3.1: Darstellung des Kenntnisstandes zur Geologie der Kristallinvorkommen in Deutschland, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, 2016.
- /BMU 10/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Stand: 30. September 2010, Bonn.
- /BMU 20/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Verordnung über Sicherheitsanforderungen und vorläufige Sicherheitsuntersuchungen für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle. Entwurf vom 06.04.2020. ⁵
- /DBE 98/ Filbert, W. & Engelmann, H.J.: Aktualisierung des Konzeptes "Endlager Gorleben". Abschlussbericht: Peine, 1998.
- /GRS 11/ Bollingerfehr, W., Filbert, W., Lerch, C., Tholen, M.: Endlagerkonzepte, Bericht zum Arbeitspaket 5, Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben, GRS-272, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln, 2011.

⁵ Bei Berichtserstellung lag der Entwurf der Verordnung über Sicherheitsanforderungen und vorläufige Sicherheitsuntersuchungen für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle vom 6. April 2020 vor.

- /GRS 12/ Bollingerfehr, W., Filbert, W., Dörr, S., Herold, P., Lerch, C., Burgwinkel, P., Charlier, F., Thomauske, B., Bracke, G., Kilger, R.: Endlagerauslegung und -optimierung. Bericht zum Arbeitspaket 6, Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben. GRS-281, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, Köln, 2012.
- /GRS 13/ Fischer-Appelt, K. Baltes, B., Buhmann, D., Larue, J., Mönig, J.: Synthesebericht für die VSG; Bericht zum Arbeitspaket 13, Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben. GRS-290, ISBN 978-3-939355-66-3; Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, Köln, 2013.
- /IAEA 12/ The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste. IAEA Safety Standards, Specific Safety Guide No. SSG-23. ISBN 978-92-0-128310-8, International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, 2012.
- /NEA 13/ OECD/NEA: The Nature and Purpose of the Post-closure Safety Cases for Geological Repositories. Report NEA/RWM/R(2013)1. OECD Nuclear Energy Agency, Paris, 2013.
- /NAG 19/ Sachplan geologische Tiefenlager, Etappe 3: Vorschläge zur Konkretisierung der Oberflächeninfrastruktur der geologischen Tiefenlager. Teil 1: Einführung und Grundlagen, Arbeitsbericht NAB 19-08, Mai 2019.
- /NMU 02/ Niedersächsisches Ministerium für Umwelt: Planfeststellungsbeschluss für die Errichtung und den Betrieb des Bergwerkes Konrad in Salzgitter, 22.05.2002.
- /POS 06/ Disposal Facility in Olkiluoto, Description of above Ground Facilities in Lift Transport Alternative, Posiva Oy, Eurajoki, November 2006
- /POS 16/ Design and Construction of Equipment and Experimental Deposition Holes, in ONKALO Demonstration Tunnel 2, WR-2016-27, Posiva Oy, Eurajoki, 2016.

- /POS 17/ Design and Construction of Equipment and Experimental Desposition Holes, in ONKALO Demonstration Tunnel 1, WR-2015-25, Posiva Oy, Eurajoki, 2017.
- /TEC 04/ Filbert, W., Amelung, P., Biurrun, E., Bollingerfehr, W., Müller-Hoeppe, N., Ziegenhagen, J. u. a. : Gegenüberstellung von Endlagerkonzepten in Salz. Abschlussbericht Projekt GEIST, FKZ02E9511, DBE TECHNOLOGY GmbH, Peine.
- /TEC 10/ Buhmann, D., Mönig, J., Wolf, J., Keller, S., Mrugalla, S., Weber, J., Krone, J. & Lommerzheim, A.: Nachweis und Bewertung des Isolationszustandes "Sicherer Einschluss". ISIBEL Projekt, Gemeinsamer Abschlussbericht DBE TECHNOLOGY GmbH, BGR, GRS, FKZ02E10065 / FKZ02E10055, TEC-11-2010-AB, Hannover, Peine, Braunschweig, 2010.
- /TEC 10b/ Pöhler, M., Amelung, P., Bollingerfehr, W., Engelhardt, H.J., Filbert, W. & Tholen, M.: Referenzkonzept für ein Endlager für radioaktive Abfälle im Tongestein. Vorhaben ERATO FKZ02E10286, Abschlussbericht, DBE TECHNOLOGY GmbH, TEC-28-2008-AB, Peine, 2010.
- /TEC 14/ Bollingerfehr, W., Herold, P., Dörr, S., Filbert, W.: ASTERIX. Auswirkungen der Sicherheitsanforderung Rückholbarkeit auf existierende Einlagerungskonzepte und Anforderungen an neue Konzepte. DBE Technology GmbH, TEC-21-2013-AB, Peine, 2014.
- /TEC 15/ Lommerzheim, A., Jobmann, M.: Endlagerkonzept sowie Verfüll- und Verschlusskonzept für das Endlagerstandortmodell NORD. Projekt ANSICHT, Technischer Bericht, TEC-14-2015-TB, DBE TECHNOLOGY GmbH, Peine, 2015.
- /TEC 15b/ Jobmann, M. & Lommerzheim, A.: Endlagerkonzept sowie Verfüll- und Verschlusskonzept für das Standortmodell SÜD. Projekt ANSICHT: Methodik und Anwendungsbezug eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes für ein HAW-Endlager im Tonstein, Technischer Bericht, DBE TECHNOLOGY GmbH, TEC-26-2015-TB, Peine, 2015.

- /TEC 17/ Jobmann, M., Bebiolka, A., Burlaka, V., Herold, P., Jahn, S., Lommerzheim, A., Maßmann, J., Meleshyn, A., Mrugalla, S., Reinhold, K., Rübél, A., Stark, L. & Ziefle, G.: Projekt ANSICHT. Sicherheits- und Nachweismethodik für ein Endlager im Tongestein in Deutschland. Synthesebericht, DBE TECHNOLOGY GmbH, TEC-19-2016-TB, Peine, 2017.
- /TEC 17b/ Bertrams, N., Herold, P., Herold, M., Krone, J., Lommerzheim, A., Prignitz, S., & Simo Kuate, E.: Entwicklung eines technischen Konzeptes für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle und ausgediente Brennelemente im Kristallingestein in Deutschland. DBE Technology GmbH, TEC-20-2017, Peine, 2017.
- /TEC 18/ Bollingerfehr, W., Bertrams, N., Minkley, W., Buhmann, D., Mönig, J., Eickemeier, R., Popp, T., Fahland, S., Prignitz, S., Filbert, W., Reinhold, K., Hammer, j., Simo, E., Kindlein, J., Thiemeyer, T., Knauth, M., Völkner, E., Wenting Liu & Wolf, J.: Concept developments for a generic repository for heat-generating waste in bedded salt formations in Germany. BGE Technology GmbH, BGE TEC 2018-13, Peine, 2018.
- /TEC 18b/ Herold, P., Prignitz, S., Simo, E., Filbert, W. & Bertrams, N.: ERNESTA Entwicklung technischer Konzepte zur Rückholung von Endlagerbehältern mit wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen und ausgedienten Brennelementen aus Endlagern in Salz- und Tongesteinsformationen. BGE Technology GmbH, BGE TEC 2018-11, Peine, 2018.
- /TEC 19/ Leonhardt, J., Herold, P., Bertrams, N., Lommerzheim, A.: Beschreibung eines generischen Modells der Tagesanlage für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle. BGE Technology GmbH, BGE TEC 2019-32, Peine, 27.08.2019.

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1	Ableitung von Maßnahmen für den Bau und Betrieb eines Endlagers aus den Anforderungen der Langzeitsicherheit.....	3
Tab. 3.1	Maßnahmen und Sicherheitsfunktionen in Einlagerungsbereichen	45
Tab. 3.2	Maßnahmen und Sicherheitsfunktionen in Grubenbauen (außerhalb der Einlagerungsbereiche).....	46
Tab. 3.3	Maßnahmen und Sicherheitsfunktionen in Schächten bzw. Rampen	47
Tab. 4.1	Kerntechnische Tagesanlagen und deren Funktionen	51
Tab. 4.2	Konventionelle Tagesanlagen und deren Funktionen	52
Tab. 5.1	Ableitung von Maßnahmen für den Bau und Betrieb eines Endlagers aus den Anforderungen der Langzeitsicherheit.....	58

Abbildungsverzeichnis

Abb. 3.0	Prinzipskizze für das Grubengebäude der Endlagerkonzepte	7
Abb. 3.1	Schematische Darstellung eines Endlagerbehälters vom Typ POLLUX® zur Aufnahme von Brennstäben, aus /TEC 15b/	11
Abb. 3.2	Einlagerungsvorrichtung für die Streckenlagerung von POLLUX®-Behältern, aus /GRS 11/	12
Abb. 3.3	Schematische Darstellung des Streckenlagerungskonzeptes für POLLUX®-Behälter, Längsschnitt durch eine Einlagerungsstrecke, aus /TEC 15b/	12
Abb. 3.4	Schematische Darstellung des Streckenlagerungskonzeptes für POLLUX®-Behälter, Querschnitt durch eine Einlagerungsstrecke, aus /TEC 15b/	13
Abb. 3.5	Schematische Prinzipskizze des Verschlusssystems, aus /TEC 15b/	14
Abb. 3.6	Konzeptioneller Entwurf eines Streckenverschlusses, aus /TEC 15/	16
Abb. 3.7	Schachtverschlusskonzept für das Referenzprofil ANSICHT SÜD, aus /TEC 15b/	18
Abb. 3.8	Abmessungen einer rückholbaren Brennstabkokille, aus /GRS 11/	19
Abb. 3.9	Schachtverschlusskonzept für das Referenzprofil ANSICHT NORD, aus /TEC 15/	23
Abb. 3.10	POLLUX®-Behälter mit gezogenen Brennstäben aus DWR-BE	27
Abb. 3.11	Einlagerungsvorrichtung für POLLUX®-Behälter, aus /GRS 11/.....	27
Abb. 3.12	Einlagerungsvorrichtung für Brennstabkokillen, Demonstrationsanlage... zur Erprobung der Einlagerungstechnik, aus /TEC 15/	29
Abb. 3.13	3D-Modell eines CASTOR® V/19 Behälters	31

Abb. 3.14	Umladung am Füllort	32
Abb. 3.15	Situation am Füllort	32
Abb. 3.16	Situation am Einlagerungsort für die TLB-Einlagerung	33
Abb. 3.17	Behälter des modifizierten KBS-3-Konzepts nach /POS 16/, mit einer Nut für die Einlagerungsvorrichtung	39
Abb. 3.18	Grundlegende einschlusswirksame Aspekte der Verfüll- und Verschlusskonzepte im Kristallingestein, in Anlehnung an /TEC 17b/..	43
Abb. 4.1	Geplante Tagesanlagen am Standort Gorleben gemäß /GRS 11/.....	53
Abb. 4.2	Schematischer Aufbau der Umschlagsanlage gemäß /GRS 11/	54
Abb. 5.1	Teilbereiche des generischen Endlagerbergwerks	56

A Auswirkungen der Betriebsphase auf die Langzeitsicherheit (FEP-Tabelle Betriebsphase)

Der Anhang A enthält die Dokumentation der FEP-Tabelle Betriebsphase für den Bau und Betrieb bzw. die Betriebssicherheit eines Endlagerbergwerks und mögliche Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit des Endlagersystems. Die Auflistung der FEP separiert nach

- übergeordneten Ereignissen bzw. Prozessen und Tagesanlagen (A1)
- Teilsystem Schächten und Rampen (A2),
- Teilsystem Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche (A3) und
- Teilsystem Einlagerungsbereiche (A4).

Die nachfolgenden Abkürzungen gelten für den gesamten Anhang A:

LZS ... Langzeitsicherheit

ewG ... einschlusswirksamer Gebirgsbereich

SL... Streckenlagerung

VBL ... Vertikale Bohrlochlagerung

HBL ... Horizontale Bohrlochlagerung

TLB ... Direkte Endlagerung: Transport- und Lagerbehälter

KBS ... modifiziertes skandinavisches Konzept (Kristallin)

MewG ... Konzept multipler ewG

ÜewG ... Konzept überlagernder ewG

Z ... Zustand

E ... Ereignis

P ... Prozess

A.1 Übergeordnete Faktoren und Tagesanlagen

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
0 Übergeordnete Faktoren					
0.1 Unterbrechungen im Betriebsablauf					
0.1.1	E/P	Unterbrechung im Betriebsablauf	<p>Unterbrechungen, die den Betriebsablauf stören bzw. verzögern können. Mögliche Ursachen wären z. B. Feuer (FEP 2.3.12, 3.3.14, 4.3.18), Stromausfall (FEP 0.3.2), menschliche Fehler (FEP 0.2.1) oder notwendige Änderungen im Verfüll- und Verschlusskonzept. Beschädigungen und Versagen von Komponenten können ebenfalls Unterbrechungen zur Folge haben.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Verzögerung z. B. bei Anlieferung von Baustoffen, Verlängerung der Betriebsphase.</p> <p>B) Wird die Einlagerung unterbrochen, können Einlagerungsorte evtl. temporär nicht mehr ordnungsgemäß befüllt werden; d. h. es gäbe teilgefüllte Bohrlöcher oder Strecken, ändert die Anzahl der Einlagerungsorte.</p> <p>C) Genehmigungsbedingte Unterbrechung kann sehr lange Verzögerung bedeuten.</p> <p>D) Verzögerung bei Einbau von Verschlüssen.</p>	<p>A) Ja B) Ja C) Ja D) Ja</p>
Erläuterungen					
<p>A) Verlängerungen der Betriebsphase können zu anderen Standortbedingungen zu Beginn der Nachverschlussphase führen.</p> <p>B) Im ungünstigen Fall muss Grubengebäude vergrößert werden, was Standortbedingungen zu Beginn der Nachverschlussphase verändert.</p> <p>C) Lang dauernde Unterbrechungen der Betriebsabläufe können zu anderen Standortbedingungen zu Beginn der Nachverschlussphase führen.</p> <p>D) Lange Verzögerungen des Einbaus von Verschlüssen können lokale Standortbedingungen im Einbauort verändern. Unterbrechungen des Betriebs können dazu führen, dass Verschlüsse nicht in der vorgesehenen Weise eingebaut werden können.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
0 Übergeordnete Faktoren					
0.2 Menschliche Einwirkungen					
0.2.1	E/P	Menschliches Versagen	Umfasst alle Formen des menschlichen Versagens, die sich auf den Endlagerbetrieb auswirken können; z. B. Fehler bei der Auslegung und der Herstellung von Baustoffen und technischen Komponenten (Endlagerbehälter, Förderanlage, Ausbau, Bohrungen etc.), Fehler bei der Programmierung und Auswertung von Monitoring, der Bewertung geologischer Daten, etc. Konzept: alle	Menschliches Versagen kann direkt oder indirekt die Ursache für eine Vielzahl von Störfällen sein, z. B. A) Versagen des Schacht- oder Rampenausbaus B) Absturz des Förderkorbs bzw. Versagen der Seilbahntechnik C) Feuer D) Beschädigung eines Behälters	A) Ja B) Ja C) Ja D) Ja
Erläuterungen					
<p>A) Versagen des Schacht-oder Rampenausbaus kann zum Lösungszutritt und zur Flutung des Grubengebäudes führen, siehe FEP 2.3.3.</p> <p>B) Absturz des Förderkorbes bzw. Versagen der Seilbahntechnik kann zu einer Freisetzung radioaktiver und chemotoxischer Stoffe führen, siehe FEP 2.3.15 und 2.3.16.</p> <p>C) Feuer kann aufgrund thermomechanischer Spannungen die Integrität des Wirtsgesteins beeinträchtigen, siehe FEP 2.3.12.</p> <p>D) Fehler bei der Einlagerung können zur Beschädigung der Behälter und zur Freisetzung von radioaktiven und chemotoxischen Stoffen führen, siehe FEP 2.3.15 und 2.3.16.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
0 Übergeordnete Faktoren					
0.2 Menschliche Einwirkungen					
0.2.2	E/P	Einflüsse menschlicher Aktivitäten	Umfasst alle menschlichen Aktivitäten, die nicht auf fehlerhaftem Verhalten beruhen, aber auf den Betrieb des Endlagers einwirken. Konzept: alle	Menschliche Aktivitäten können alle Bereiche des Endlagers betreffen.	Ja
Erläuterungen					
Beispiele für menschliche Aktivitäten, die Auswirkungen auf den Betrieb des Endlagers und damit potenziell auf die Nachverschlussphase haben, sind: Bautätigkeiten (z. B. Sprengungen), Bergbau in der Nachbarschaft, Flugverkehr (Absturz, siehe FEP 0.3.4).					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
0 Übergeordnete Faktoren					
0.3 Einwirkungen von außen (EVA)					
0.3.1	E/P	Erdbeben	<p>Nach großräumigen tektonischen Bewegungen Entlastung von aufgestauten Spannungen in ruckartigen Bewegungen des Gesteins mit bleibenden Verschiebungen. Neben tektonisch verursachten Erdbeben gibt es vulkanisch, isostatisch und vom Menschen ausgelöste Beben.</p> <p>Das FEP <i>Erdbeben</i> stellt eine spezielle Ausprägung des FEP <i>Spannungsänderung</i> dar.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>In Schacht, Rampe und Grubengebäude kann es zu Beschädigungen kommen, aus denen verschiedene Störfälle resultieren können (z. B. Versagen des Schacht-, Rampen- oder Streckenausbaus, Absturz des Förderkorbes bzw. Versagen der Seilbahntechnik etc.). Außerdem kann die Auflockerungszone vergrößert werden und neue Risse/Klüfte im Gebirge können aufreißen.</p>	Ja
<p>Erläuterungen</p> <p>Durch Verschiebungen/Verformungen im Grubengebäude kann es zur Radionuklidfreisetzung und zu Kontaminationen im Gebirge kommen. Zusätzliche Auflockerungen bzw. das Aufreißen neuer Risse/Klüfte im Gebirge beeinflussen die Barriereneigenschaften des Gebirges.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
0 Übergeordnete Faktoren					
0.3 Einwirkungen von außen (EVA)					
0.3.2	E/P	Anlagenexter- ner Stromausfall	Stromausfall, der auch die Notstromversor- gung einschließen kann, und sich dann auf die Funktion sicherheitsrelevanter Anlagen auswirkt. Konzept: alle	Kann zu kurzzeitigen Unterbrechungen des Be- triebsablaufs führen. Sicherheitstechnisch wichtige Anlagen gehen bei Unterbrechung der Stromversorgung in einen sicheren Ruhezu- stand (fail-safe-Modus).	Keine
Erläuterungen					
Kurzzeitige Unterbrechungen der Stromversorgung führen zu keinen Verzögerungen im Betriebsablauf, die für die Langzeitsicherheit relevant wären.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
0 Übergeordnete Faktoren					
0.3 Einwirkungen von außen (EVA)					
0.3.3	E/P	Flutung des Endlagers durch Hochwasser	FEP beschreibt eine Flutung des Endlagers von über Tage, entweder Tagesanlagen, oder Schächte bzw. Rampe, z. B. falls der Standort an einem Gewässer liegt infolge eines Hochwassers. Konzept: alle	Eine Flutung kann dazu führen, dass Einlagerungsprozesse abgebrochen werden und Verfüll- und Verschlussmaßnahmen nicht fertiggestellt werden können.	Ja
Erläuterungen					
Bei abgebrochener Einlagerung und nicht fertig gestellten Barrieren können Wässer direkt zu den Endlagergebinden vordringen und Behälterkorrosion sofort einsetzen. In der Folge kommt es zur Gasbildung und zum frühzeitigen Versagen der Behälter mit Freisetzung von Radionukliden und chemotoxischen Stoffen.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
0 Übergeordnete Faktoren					
0.3 Einwirkungen von außen (EVA)					
0.3.4	E/P	Flugzeugabsturz	<p>Flugunfälle, bei denen die Maschine ihre Flugfähigkeit verliert und nicht kontrolliert gelandet werden kann. Mögliche Auswirkungen sind mechanische Einwirkungen durch Aufprall, Treibstoffbrand und Explosion.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Durch die Zerstörung der Tagesanlagen wird der Betriebsablauf unterbrochen.</p> <p>B) Bei Zerstörung der Schachtförderanlage bzw. der Seilbahnanlage kann es zum Absturz des Förderkorbs bzw. Versagen der Seilbahntechnik kommen.</p>	<p>A) Ja B) Ja</p>
Erläuterungen					
<p>A) Verlängerung der Betriebsphase, veränderte Standortbedingungen zu Beginn der Nachverschlussphase, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i>.</p> <p>B) siehe FEP 1.3.1, 2.3.1 <i>Versagen der Schachtfördertechnik</i> bzw. FEP 1.3.2, 2.3.2 <i>Versagen der Seilbahntechnik</i></p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
0 Übergeordnete Faktoren					
0.3 Einwirkungen von außen (EVA)					
0.3.5	E/P	Einwirkungen gefährlicher Stoffe	<p>Gefährliche Stoffe umfassen Stoffe, die kurz- oder langfristig die Funktion sicherheitsrelevanter Komponenten stören können (explosionsfähige, entzündliche, Sauerstoff verzehrende, verstopfende oder korrosive Stoffe).</p> <p>Außerdem Stoffe, die die Handlungsfähigkeit des Personals gefährden (giftige, narkotische, ätzende, Sauerstoff verzehrende, explosionsfähige und radioaktive Stoffe).</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Stoffe, die Komponenten zerstören, können zum Stromausfall bzw. (durch Korrosion / Explosion) zum Absturz des Förderkorbs bzw. Versagen der Transporttechnik in der Rampe bzw. Seilbahntechnik führen.</p> <p>B) Bei Ausfall des Betriebspersonals gehen sicherheitstechnisch relevante Einrichtungen und Fahrzeuge in einen sicheren Ruhezustand ("fail-safe"-Modus) über und der Betrieb wird unterbrochen.</p>	<p>A) Ja B) Ja</p>
Erläuterungen					
<p>A) Aus der Verlängerung der Betriebsphase ergeben sich veränderte Rahmenbedingungen zu Beginn der Nachverschlussphase. ggf. Freisetzung von Radionukliden (Absturz Förderkorb bzw. Versagen der Seilbahntechnik), siehe FEP 1.3.1, 2.3.1, 1.3.2, 2.3.2.</p> <p>B) Verlängerung der Betriebsphase, veränderte Standortbedingungen zu Beginn der Nachverschlussphase, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i>.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
0 Übergeordnete Faktoren					
0.3 Einwirkungen von außen (EVA)					
0.3.6	E/P	Anlagenexterne Explosion	<p>Durch Explosion werden plötzlich große Energiemengen in Form von Temperatur-, Druck- und Bewegungsenergie freigesetzt, z. B. durch Sprengstoffe, explosive Gasgemische. Sehr schnell ablaufende Reaktionen bedingen Freisetzung großer Gas- und Wärmemengen und starke Druckwellen, die durch plötzliche Volumenausdehnung der Gase entsteht.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>Auswirkungen auf die Tagesanlagen:</p> <p>A) Eine Zerstörung der Tagesanlagen kann zur Unterbrechung des Betriebsablaufs führen.</p> <p>B) Eine Zerstörung der Schachtförderanlage bzw. der Fördertechnik der Schrägförderanlage kann zum Absturz des Förderkorbs bzw. zum Versagen der Seilbahntechnik führen.</p>	<p>A) Ja B) Ja</p>
<p>Erläuterungen</p> <p>A) Verlängerung der Betriebsphase, veränderte Standortbedingungen zu Beginn der Nachverschlussphase, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i>.</p> <p>B) siehe FEP 1.3.1, 2.3.1 <i>Versagen der Schachtfördertechnik</i> bzw. FEP 1.3.2, 2.3.2 <i>Versagen der Seilbahntechnik</i></p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
-----	-------	----------	------------------	--	--------------------------------------

0 Übergeordnete Faktoren

0.3 Einwirkungen von außen (EVA)

0.3.7	E/P	Extreme meteorologische Bedingungen	Extreme, wetterbedingte Einwirkungen auf die Tagesanlagen, wie Blitzschlag, Sturm, Eis und Schnee Konzept: alle	keine, werden durch Auslegung der Gebäude abgedeckt.	Keine
-------	-----	-------------------------------------	---	--	-------

Erläuterungen

Nicht relevant, da durch die Auslegung der Tagesanlagen abgedeckt.

0 Übergeordnete Faktoren

0.3 Einwirkungen von außen (EVA)

0.3.8	E/P	Anlagenexterner Brand und sonstige standortbedingte Einwirkungen	Brände durch natürliche (Wald) oder zivilisatorische Ursachen (Unfälle in angrenzenden Anlagen, Leitungen und Fahrzeugen) sowie elektromagnetische Einwirkungen. Konzept: alle	keine, werden durch die Anlagenauslegung abgedeckt.	Keine
-------	-----	--	--	---	-------

Erläuterungen

Nicht relevant, da ausschließlich Einwirkung an der Erdoberfläche.

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.1 Komponenten					
1.1.1	Z	Gebäude und Fundament	Die Gebäude (inkl. Fundamente) gliedern sich in konventionelle und kerntechnische Anlagen, die gemäß den Anforderungen des Regelwerks sowie des Sicherheitskonzepts und betrieblichen Belangen errichtet werden. Sie bestehen aus Beton (z. T. armiert) und Mauerwerk. Konzept: alle	Gebäude und Fundamente werden zum Ende der Betriebsphase abgerissen.	Keine
Erläuterungen					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.1 Komponenten					
1.1.2	Z	Endlagergebäude und Transferbehälter (Tagesanlagen)	<p>Das FEP beschreibt Materialien und Eigenschaften der Endlagerbehälter und des Abfalls. Mit Transferbehältern werden nicht abgeschirmte Gebinde transportiert. Behälter werden in der Entladehalle kontrolliert, auf Transportfahrzeuge umgeladen und entweder temporär im Pufferlager aufbewahrt oder über Schacht und Rampe nach untertage transportiert.</p> <p>Konzept: alle</p>	Materialien und Eigenschaften der Endlagergebäude bestimmen den Ausgangszustand für die Langzeitsicherheit.	Keine
<p>Erläuterungen</p> <p>Wenn bei einem Unfall Radionuklide freigesetzt werden, kann es zur Kontamination des Gebirges kommen, siehe Förderkorbabsturz bzw. Versagen der Seilbahntechnik in den FEP 1.3.1, 2.3.1, 1.3.2, 2.3.2.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.1 Komponenten					
1.1.3	Z	Schienenfahr- zeuge	Die Endlagergebände können mit Zügen im Endlager (Entladehalle) angeliefert werden. Hier werden sie auf endlagerspezifische Schienenfahrzeuge (Plateauwagen) umge- laden. Diese Fahrzeuge werden im Förderkorb (Schacht) oder mittels Seilbahn (Rampe) nach untertage transportiert. Konzept: alle	Im Fall eines Unfalls können Endlagergebände beschädigt werden.	Keine
Erläuterungen Beschädigte Endlagergebände werden nicht weiter transportiert.					

1 FEP: Anlagen über Tage					
1.1 Komponenten					
1.1.4	Z	Radfahrzeuge	Die Endlagergebände können auf Radfahr- zeugen im Endlager (Entladehalle) angeliefert werden. Hier werden die Behälter auf Schienenfahrzeuge umgeladen. Konzept: alle	Im Fall eines Unfalls können Endlagergebände beschädigt werden.	Keine
Erläuterungen Beschädigte Endlagergebände werden nicht weiter transportiert.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.1 Komponenten					
1.1.5	Z	Krananlagen	<p>Die Krananlagen dienen dem Umladen und Transport der Behälter in der Entlade- und Pufferhalle. Es gibt Krane im Reparaturbereich (Heisse Zelle) zur Handhabung von Behälterkomponenten (Deckel) sowie in der Werkstatt.</p> <p>Konzept: alle</p>	Im Fall eines Unfalls können Endlagergebäude beschädigt werden.	Keine
<p>Erläuterungen Beschädigte Endlagergebäude werden nicht weiter transportiert.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.1 Komponenten					
1.1.6	Z	Trocknungsanlage	Im Eingangsbereich der Entladehalle befindet sich eine Trocknungsanlage, um die Transporthauben der angelieferten Endlagergebäude vor den Eingangskontrollen zu trocknen. Konzept: alle	Keine	Keine
Erläuterungen					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.1 Komponenten					
1.1.7	Z	Technische Einrichtungen (Entladehalle)	Die technischen Einrichtungen in der Entladehalle umfassen die Stromversorgung, Wasserhaltung, Leit- und Kommunikationstechnik, Reinigungseinrichtungen, Messtechnik, Lüftung, Brandschutzeinrichtungen etc. Dies umfasst auch den Kontrollbereich, von dem aus Vorgänge gesteuert und überwacht werden. Konzept: alle	Keine	Keine
Erläuterungen					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.1 Komponenten					
1.1.8	Z	Technische Einrichtungen (Pufferhalle)	Die technischen Einrichtungen in der Pufferhalle umfassen die Stromversorgung, Leit- und Kommunikationstechnik, Messtechnik, Lüftung, Brandschutzeinrichtungen etc. Konzept: alle	Keine	Keine
Erläuterungen					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.1 Komponenten					
1.1.9	Z	Technische Einrichtungen (Heiße Zelle)	Die technischen Einrichtungen der Heißen Zelle umfassen die Stromversorgung, Leit- und Kommunikationstechnik, Messtechnik, Lüftung, Schweißanlage, Reparatureinrichtungen, Brandschutzeinrichtungen etc. Konzept: alle	Keine	Keine
Erläuterungen					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.1 Komponenten					
1.1.10	Z	Technische Einrichtungen (Dekontamination)	Die technischen Einrichtungen zur Dekontamination umfassen die Stromversorgung, Wasserhaltung, Leit- und Kommunikationstechnik, Messtechnik, Pumpen, Reinigungstechnik, Lüftung (inkl. Filteranlagen), Brandschutzeinrichtungen, Tanks für Flüssigkeiten etc. Konzept: alle	Keine	Keine
Erläuterungen					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.1 Komponenten					
1.1.11	Z	Technische Einrichtungen (Werkstatt)	Die technischen Einrichtungen der Werkstätten umfassen die Stromversorgung, Leit- und Kommunikationstechnik, Messtechnik, Pumpen, Lüftung (incl. Filteranlagen), Werkzeuge und Geräte, Brandschutzeinrichtungen etc. Konzept: alle	Keine	Keine
Erläuterungen					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.1 Komponenten					
1.1.12	Z	Technische Einrichtungen (Sammlung und Behandlung radioaktiver Betriebsabfälle)	Die technische Einrichtungen für Betriebsabfälle umfassen die Stromversorgung, Leit- und Kommunikationstechnik, Messtechnik, Pumpen, Lüftung (inkl. Filteranlagen), Konditionierungseinrichtungen, Tanks, Brandschutzeinrichtungen etc. Konzept: alle	Keine	Keine
Erläuterungen					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.1 Komponenten					
1.1.13	Z	Tore und Schleusen	<p>Die Bereiche der Umschlagsanlage (Fahrwege, Trocknungshalle, Dekontamination, Heiße Zelle, Pufferhalle, Werkstatt und Schachthalle) sind mit Toren/Schleusen mit Abschirmfunktion versehen, um die Strahlenexposition des Betriebspersonals zu minimieren und Freisetzung in den Außenbereich zu vermeiden.</p> <p>Konzept: alle</p>	Keine	Keine
Erläuterungen					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.1 Komponenten					
1.1.14	Z	Schachtförder- anlage	Die Schachtförderanlage umfasst den För- derturm, die Fördermaschine, die Winde und den Förderkorb. Konzept: alle	Die Schachtförderanlage wird zum Ende der Betriebsphase entfernt.	Keine
Erläuterungen Bei Havarien der Anlage kann der Förderkorb abstürzen, siehe FEP 1.2.7.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.1 Komponenten					
1.1.15	Z	Antrieb der Seilbahn	Der Antrieb der Seilbahn besteht aus der Fördermaschine und einer Trommel für das Stahlseil. Konzept: alle Kristallinkonzepte	Der Antrieb der Seilbahn wird zum Ende der Betriebsphase entfernt.	Keine
Erläuterungen					
Beim Versagen der Seilbahntechnik kann der Förderung in der Rampe havarieren, siehe FEP 1.2.8.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.1 Komponenten					
1.1.16	Z	Hauptgruben- lüfteranlage	Die Hauptgrubenzlüfter ist am ausziehenden Schacht angeordnet und Teil der kerntechnischen Anlagen. Er besteht aus Axial-Lüfter, Wetterschieber, Diffusor, Ersatzlüfter, Filteranlagen und Steuerpult. Konzept: alle	Ein Versagen der Lüfteranlagen kann eine Unterbrechung des Endlagerbetriebes bewirken.	Ja
Erläuterungen					
Ein Versagen der Lüfteranlagen kann zur längerfristigen Unterbrechung im Betriebsablauf führen, siehe FEP 0.1.1.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.1 Komponenten					
1.1.17	Z	Einrichtungen zur Energieversorgung	Die Einrichtungen zur Energieversorgung umfassen z. B. Transformatorstationen, Stromkabel, Notstromversorgung. Konzept: alle	Ein Versagen der Energieversorgung kann eine Unterbrechung des Endlagerbetriebs bewirken.	Ja
Erläuterungen					
Ein Versagen der Energieversorgung kann zur längerfristigen Unterbrechung im Betriebsablauf führen, siehe FEP 0.1.1.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.1 Komponenten					
1.1.18	Z	Einrichtungen zur Grubenwasseraufbereitung	Die Einrichtungen zur Grubenwasseraufbereitung umfassen Tanks, Leitungen, Pumpen, Filteranlagen und Messtechnik. Konzept: alle	Durch defekte Anlage können kontaminierte Lösungen austreten.	Ja
Erläuterungen					
Kontaminierte Lösungen können in Schächte und Rampen gelangen und das Gebirge kontaminieren, siehe FEP 1.1.19. Das kann zur längeren Unterbrechung im Betriebsablauf führen, siehe FEP 0.1.1.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.1 Komponenten					
1.1.19	Z	Lösungen (Tagesanlagen)	Wässrige Lösungen aus Bau- und Betriebsstoffen, aus der Trocknungsanlage, Grubenwässer aus konventionellen und kerntechnischen Bereichen und Kondensate des Abwetterdiffusors, die in Tagesanlagen erfasst und behandelt werden. Konzept: alle	Falls durch defekte Leitungen aus den Tagesanlagen kontaminierte Lösungen in Schacht oder Rampe gelangen, können sie dort und im Gebirge zu Kontaminationen führen.	Ja
Erläuterungen Kontaminationen des Gebirges können langfristig in die Biosphäre gelangen.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.1 Komponenten					
1.1.20	Z	Gase (Tagesanlagen)	Gase in den Tagesanlagen umfassen einziehende Wetter über den konventionellen Schacht/Rampe und ausziehende Wetter über den kerntechnischen Schacht/Rampe. Die Wetterströme werden messtechnisch überwacht. Konzept: alle	Keine	Keine
Erläuterungen					
Die Bewetterung wird mit dem Ende des Betriebes eingestellt.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.1 Komponenten					
1.1.21	Z	Flüssige Kohlenwasserstoffe (Tagesanlagen)	Das FEP umfasst Kraft- und Schmierstoffe für Fahrzeuge und Maschinen. Konzept: alle	Falls Kraftstoffleitungen in Schacht/Rampe undicht werden, kann es zur Kontamination des Gebirges kommen.	Ja
Erläuterungen Kontaminationen des Gebirges können langfristig in die Biosphäre gelangen.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.2 Prozesse					
1.2.1	E/P	Betrieb der Trocknungsan- lage	<p>In der Trocknungsanlage wird Oberfläche der Schutzhaube des Endlagergebindes mit einem Gebläse getrocknet. Die Trocknung folgt dem Prinzip der Konvektion. Frisch- und Umluft werden durch Mischung, Reinigung und Erwärmung zur Trocknung des Gebindes genutzt. Die Zuführung erfolgt mit Ventilatoren über Luftlenkjalousien. Aufgefangene Stoffe werden unter dem Behälter gesammelt und in den Bereich der Sammlung und Behandlung radioaktiver Stoffe überführt. Eine Abluftanlage führt die verbrauchte Luft über einen Abluftfilter aus der Trocknungsanlage gerichtet in den Kamin der Hauptgrubenlüfteranlage.</p> <p>Im Trocknungsaggregat sind Umluftventilatoren, Vorfilter und Luffterhitzer installiert. Diese Aggregate befinden sich in Räumen oberhalb der Trocknungskammer.</p> <p>Konzept: alle</p>	Keine	Keine
Erläuterungen					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.2 Prozesse					
1.2.2	E/P	Betrieb von Schienenfahrzeugen (außerhalb der Umschlaghalle)	<p>Im Bereich der Tagesanlage, außerhalb der Umschlagsanlage ist ein Schienennetz angelegt. Dies ermöglicht Schienentransport der Endlagergebäude durch die gesamte Tagesanlage. Signalanlagen und Planung der Logistik unterstützen den Ablauf.</p> <p>Konzept: alle</p>	Keine	Keine
Erläuterungen					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.2 Prozesse					
1.2.3	E/P	Betrieb von Schienenfahrzeugen (innerhalb der Umschlaghalle)	In der Umschlagsanlage werden Endlagergebäude mit gleisgebundenen Plateauwagen auf Gleisförderanlagen bewegt. Das Umladen der Behälter vom Anlieferungsfahrzeug auf die Plateauwagen erfolgt im Endladebereich der Umschlagsanlage. Konzept: alle	Keine	Keine
Erläuterungen					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.2 Prozesse					
1.2.4	E/P	Betrieb von Radfahrzeugen	Die Anlieferung der Endlagergebäude kann gleislos erfolgen. Sowohl für Anlieferungs- fahrzeuge als auch sonstige Fahrzeuge ist in der Tagesanlage ein Straßennetz angelegt. Eine geregelte Verkehrsführung sowie eine übersichtliche Beschilderung und Planung der Logistik unterstützen den Ablauf. Konzept: alle	Keine	Keine
Erläuterungen					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.2 Prozesse					
1.2.5	E/P	Betrieb der Krananlagen	Die Krananlagen in der Umschlagsanlage können sowohl ferngesteuert aus einem Steuerstand als auch aus der Fahrerkabine der Krananlage betrieben werden. Die Nutz- last muss dem Einlagerungskonzept bzw. Gewicht der Endlagerbehälter entsprechen. Konzept: alle	Keine	Keine
Erläuterungen					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.2 Prozesse					
1.2.6	E/P	Betrieb der Tore und Schleusen	<p>Sämtliche Räume der Umschlagsanlage, außer die Trocknungsanlage, befinden sich im Kontrollbereich. Zur Vorbeugung einer Strahlenexposition befinden sich an Zugängen (Pufferlager, Dekontamination, „Heiße Zelle“, Schachthalle) Tore bzw. Schleusen. Die Betätigung der Tore und Schleusen ist sowohl ferngesteuert vom Technikraum als auch manuell möglich. Zur Ableitung der Grubenwetter durch den Abwetterkanal ist die Schachthalle durch eine Schleuse von dem Schacht getrennt.</p> <p>Konzept: alle</p>	Keine	Keine
Erläuterungen					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.2 Prozesse					
1.2.7	E/P	Schachtförder- betrieb	Der Prozess beschreibt die Schachtförde- rung während des Betriebs inkl. der Beschickung des Förderkorbs in der Schachthalle. Konzept: alle	Durch den Schachtförderbetrieb können z. B. Schmierstoffe freigesetzt werden, die zu Kon- taminationen mit chemotoxischen Stoffen im angrenzenden Gebirge führen.	Ja
Erläuterungen					
Bei Betriebsstörungen können der Förderkorb abstürzen, Radionuklide und chemotoxische Stoffe freigesetzt werden, siehe FEP 1.3.1, 2.3.1. Kontaminationen können langfristig in die Biosphäre gelangen.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.2 Prozesse					
1.2.8	E/P	Seilbahnbetrieb	<p>Der Prozess beschreibt die Beschickung der Anlage über Tage und den Betrieb der über Tage installierten Anlagen für den Rampenbetrieb (Bergstation). Im Referenzkonzept ist der Antrieb in der Bergstation an der Tagesoberfläche positioniert. Außerdem umfasst der Seilbahnantrieb Welle, Getriebe und Motor.</p> <p>Konzept: alle Kristallinkonzepte</p>	Durch den Seilbahnbetrieb können z. B. Schmierstoffe freigesetzt werden, die zu Kontaminationen mit chemotoxischen Stoffen im angrenzenden Gebirge führen	Ja
<p>Erläuterungen</p> <p>Bei Betriebsstörungen können die Förderanlagen havarieren, Radionuklide und chemotoxische Stoffe freigesetzt werden, siehe FEP 1.3.2, 2.3.2. Kontaminationen können langfristig in die Biosphäre gelangen.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.2 Prozesse					
1.2.9	E/P	Betrieb der Lüfteranlagen	<p>Lüfteranlagen umfassen den Grubenlüfter sowie die Belüftung der Umschlagsanlage. Die Abluft der aus dem Grubengebäude und der Umschlagsanlage, besonders der Bereiche „Heiße Zelle“, Dekontamination und Sammlung/Behandlung radioaktiver Abfälle muss gefiltert und wird im Rahmen der Grenzwerte über einen Kamin an die Umgebung abgegeben.</p> <p>Konzept: alle</p>	Keine	Keine
Erläuterungen					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.2 Prozesse					
1.2.10	E/P	Reparaturarbeiten in der Heißen Zelle	<p>In der Heißen Zelle können kleine Reparaturen an Endlager- und Transferbehältern durchgeführt werden. Eine Umladung des Behälterinventars ist innerhalb der Anlage ausgeschlossen.</p> <p>Um einer Ausbreitung von Radionukliden vorzubeugen, liegt in der heißen Zelle ein Unterdruck gegenüber den benachbarten Räumen vor. Die Luft aus der heißen Zelle wird über einen eigenen Kreislauf separat gefiltert abgeführt.</p> <p>Konzept: alle</p>	Bei bestimmungsgemäßer Reparatur wird der Betriebsablauf nicht gestört. Falls die Reparatur nicht anforderungsgerecht erfolgt, kann der Behälter während des Betriebs oder nach der Einlagerung versagen.	Ja
<p>Erläuterungen</p> <p>Ein Versagen des Behälters aufgrund fehlerhafter Reparatur kann zur frühen oder erhöhten Freisetzung von Radionukliden und chemotoxischen Stoffen führen.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.2 Prozesse					
1.2.11	E/P	Reparatur und Wartung (Tagesanlagen)	Reparatur- und Wartungsarbeiten sind in allen Bereichen der Tagesanlagen sowie an Fahrzeugen und technischen Einrichtungen erforderlich. Konzept: alle	Bei bestimmungsgemäßer Reparatur und Wartung wird der Betriebsablauf nicht gestört. Verzögerungen im Betriebsablauf und leicht beschädigte Einlagerungsbehälter sind möglich.	Keine
Erläuterungen					
Verzögerungen im Betriebsablauf beeinflussen die Standortbedingungen zu Beginn der Nachbetriebsphase, siehe FEP 0.1.1. Bei der Reparatur und Wartung beschädigte Einlagerungsbehälter werden aufgrund ihrer Auslegung als sicherheitstechnisch unbedeutend eingeschätzt.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.2 Prozesse					
1.2.12	E/P	Betrieb der Wasseraufbereitung	<p>Abwässer aus den Kontrollbereichen werden in Behältern gesammelt und überwacht, bei Bedarf wird aufbereitet. Bei kontaminierten Wässern müssen die Rohrleitungen durch Spülung dekontaminiert werden. Das Wasser aus dem Diffusor wird im Sumpf des Maschinenraums des Lüftergebäudes gesammelt, bevor es zur Übergabestation gepumpt wird.</p> <p>Konzept: alle</p>	Keine	Keine
Erläuterungen					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.2 Prozesse					
1.2.13	E/P	Radiologische Kontrolle/ Überwachung	Der Prozess beschreibt die radiologische Kontrolle/Überwachung der Umgebung und den Einsatz von Messtechnik zur Überwa- chung von Einrichtungen und Personal. Konzept: alle	Eine radiologische Überwachung geht über die Betriebsphase hinaus, ohne das Endlagersys- tem zu beeinträchtigen.	Keine
Erläuterungen					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.2 Prozesse					
1.2.14	E/P	Dekontamination	In der Dekontamination werden Oberflächen von Transportwagen, Behältern oder Werkzeugen etc. von Kontaminationen befreit. Es wird ein geschlossener Raum vorgesehen, wo in einem Auffangbecken kontaminierte Flüssigkeiten gesammelt werden können. Konzept: alle	Keine	Keine
Erläuterungen					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.2 Prozesse					
1.2.15	E/P	Konditionierung der Betriebsab- fälle	Der Prozess beschreibt die Konditionierung der radioaktiven Betriebsabfälle, die sicher gehandhabt und unter Tage eingelagert werden. Diese Betriebsabfälle werden in Behälter verpackt. Konzept: alle	Keine	Keine
Erläuterungen					
Die Betriebsabfälle müssen bereits bei der Planung des Abfallaufkommens im Endlager berücksichtigt (abgeschätzt) werden.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.2 Prozesse					
1.2.16	E/P	Mechanische Lasten	<p>Durch betriebliche Abläufe wie Transport und Handhabung wirken mechanische Lasten auf technische Komponenten wie Krane, Transportfahrzeuge, Schachtförderanlagen und Seilbahnen sowie auf das Gebirge. Im Umgang mit heißen Behältern treten thermomechanische Lasten auf. Ein Erdbeben kann zu mechanischen Lasten für alle Komponenten führen.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>Auslegungsüberschreitende mechanische Lasten beim Schacht- oder Seilbahntransport können</p> <p>A) Beschädigungen des Behälters, B) Kontaminationen des Gebirges bewirken.</p>	<p>A) keine B) Ja</p>
<p>Erläuterungen</p> <p>A) Beschädigte Behälter werden nicht eingelagert, ausgewechselt und entfernt. B) Kontaminationen des Gebirges können langfristig in die Biosphäre freigesetzt werden.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.2 Prozesse					
1.2.17	E/P	Metallkorrosion (Tagesanlagen)	(Elektro-)Chemische Reaktionen von Metallen mit Stoffen der Umgebung bei Gegenwart von wässrigen Lösungen oder Wasserdampf bewirken Korrosion. Metalle sind Bestandteil von Gebäuden, Anlagen und Betriebsmitteln. Konzept: alle	Starke Metallkorrosion kann zu Defekten der Schachtförderanlage oder Seilbahn und bei einem Unfall zur Beschädigung der Behälter und zur Kontaminationen des Gebirges führen.	Ja
Erläuterungen					
Kontaminationen des Gebirges können langfristig auch in die Biosphäre gelangen.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.2 Prozesse					
1.2.18	E/P	Zement- korrosion (Tagesanlagen)	Chemische Reaktionen von Zementphasen durch Kontakt mit Lösung bewirkt Korrosion. In Tagesanlagen wird Zement zum Bau von Gebäuden und Verkehrswegen eingesetzt. Konzept: alle	Verfüll- und Verschlussmaterialien können durch ungünstige Lagerung und Alteration über Tage in ihrer Qualität beeinträchtigt werden.	Ja
Erläuterungen					
Beeinträchtigungen der Qualität von Versatz- und Verschlussmaterialien durch Alterationsprozesse können aufgrund menschlicher Fehler bei der Qualitätskontrolle nicht erkannt werden, so dass langfristig die Eigenschaften und Funktion des Versatz- und/oder Verschlussmaterials beeinträchtigt werden, vgl. FEP <i>Zementkorrosion</i> in 2.2.8, 3.2.6, 4.2.8.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.2 Prozesse					
1.2.19	E/P	Wärmestrom (Tagesanlagen)	Wärme wird mit Abwettern über Schacht / Rampe aus dem Grubengebäude abgeleitet. Wärmeströme ergeben sich auch durch die hohe Temperatur der Behälteroberflächen und Maschinenabwärme. Konzept: alle	Keine	Keine
Erläuterungen					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.2 Prozesse					
1.2.20	E/P	Thermische Expansion oder Kontraktion (Tagesanlagen)	Diese Prozesse beschreiben die Volumenzunahme bzw. -abnahme des Materials durch Temperaturänderung. Ursachen sind meteorologische Einflüsse oder heiße Endlagergebäude. Konzept: alle	Auslegungsüberschreitende thermomechanische Spannungen durch die Handhabung heißer Behälter können die Funktionalität der Schachtförderanlagen oder Seilbahn beeinträchtigen sowie Behälter beschädigen und Kontaminationen des Gebirges verursachen.	Ja
Erläuterungen					
Kontaminationen im Gebirge können langfristig in die Biosphäre freigesetzt werden.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
1.3.1	E/P	Versagen der Schachtförder- technik (Tagesanlagen)	Absturz des Förderkorbs durch Seilrutsch oder Übertreiben des Förderkorbs mit Seil- riss durch Versagen von Systemen mit sicherheitstechnischer Bedeutung (Strom- versorgung, Leittechnik, Bremssysteme für Förderanlage), Metallkorrosion oder Über- schreiten mechanischer Lasten. Konzept: alle	A) Abgestürzte Behälter bleiben unbeschädigt, werden geborgen und der Schacht wird in- standgesetzt. B) Durch Absturz werden Behälter beschädigt und Radionuklide freigesetzt.	A) Keine B) Ja
Erläuterungen A) Es werden keine Radionuklide freigesetzt, der abgestürzte Behälter wird entfernt. B) Es kommt zu Verzögerung oder längerfristiger Unterbrechung im Betriebsablauf, siehe FEP 0.1.1. Kontaminationen im Schacht und in Funktionseinschränkungen der Technik werden beseitigt. Kontaminationen im Gebirge können langfristig in die Biosphäre gelangen.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
1 FEP: Anlagen über Tage					
1.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
1.3.2	E/P	Versagen der Seilbahntechnik (Tagesanlagen)	Entgleisen der Seilbahn durch Versagen von Systemen mit sicherheitstechnischer Bedeutung (Stromversorgung, Leittechnik, Bremsysteme), Metallkorrosion oder Überschreiten mechanischer Lasten. Konzept: alle Kristallinkonzepte	A) Die Behälter bleiben unbeschädigt, werden geborgen und die Rampe wird instandgesetzt. B) Die Behälter werden beschädigt und Radionuklide freigesetzt.	A) Keine B) Ja
Erläuterungen A) Es werden keine Radionuklide freigesetzt, der Behälter wird geborgen. B) Es kommt zu Verzögerung oder längerfristiger Unterbrechung im Betriebsablauf, siehe FEP 0.1.1. Kontaminationen in der Rampe und Funktionseinschränkungen der Technik werden beseitigt. Kontaminationen im Gebirge können langfristig in die Biosphäre gelangen.					

A.2 Teilsystem Schächte und Rampen

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.1 Komponenten					
2.1.1	Z	Schacht- und Rampenausbau	<p>Ausbau aus Beton (ggf. auch Stahl) zur mechanischen Sicherung, zur Gewährleistung der Arbeits- und Betriebssicherheit sowie Abdichtung der Schachtröhre bzw. der Rampe gegen Fluide aus dem Wirtsgestein und Deckgebirge. Verbundausbau (z. B. Tübbing) wird vor dem Einbau der Schacht- bzw. Rampenverschlüsse entfernt.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Stabilisiert die Kontur und begrenzt die Ausweitung der Auflockerungszone.</p> <p>B) Geochemisches Milieu.</p> <p>C) Lösungszutritte während des Betriebes und der frühen Nachverschlussphase.</p>	<p>A) Ja</p> <p>B) Ja</p> <p>C) Ja</p>
<p>Erläuterungen</p> <p>A) beeinflusst die Permeabilität der Verschlüsse.</p> <p>B) siehe FEP 2.2.7 <i>Metallkorrosion (Schacht und Rampe)</i> und FEP 2.2.8 <i>Zementkorrosion (Schacht und Rampe)</i>.</p> <p>C) Während der Betriebsphase zutretenden Lösungen können sich hinter dem Ausbau ansammeln und in der Nachverschlussphase ins Grubengebäude abfließen, erhöhter Lösungszutritt möglich, siehe FEP 2.2.11 <i>Fluidzutritt (Schacht und Rampe)</i>.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.1 Komponenten					
2.1.2	Z	Schachteinbauten	Umfassen alle technischen Einrichtungen in der Schachtröhre für Betrieb, Überwachung bzw. Ver- und Entsorgung. Einbauten enthalten Brandlasten. Beobachtungssysteme der Betriebsüberwachung sind Schachteinbauten. Konzept: alle	Keine.	Keine
Erläuterungen Einbauten werden vollständig geraubt, aufgelockerte Gesteinsbereiche vor dem Einbau von Verschlussbauwerken entfernt.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.1 Komponenten					
2.1.3	Z	Rampeneinbauten	Umfassen alle technischen Komponenten in der Rampe für den Betrieb, die Überwachung bzw. die Ver- und Entsorgung. Einbauten enthalten Brandlasten. Beobachtungssysteme der Betriebsüberwachung sind Rampeneinbauten, Monitoring nicht. Konzept: Kristallin (alle)	Keine.	Keine
Erläuterungen					
Einbauten werden vollständig geraubt, aufgelockerte Gesteinsbereiche vor dem Einbau von Verschlussbauwerken entfernt.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.1 Komponenten					
2.1.4	Z	Wirtsgestein (Schacht und Rampe)	Beschreibt die mechanischen, thermischen, hydraulischen und chemisch- mineralogischen Eigenschaften der intakten Gesteinsformation im Nahbereich von Schacht und Rampe. Konzept: alle	Zustand und Eigenschaften des Wirtsgesteins beeinflussen Schacht- und Rampenverschlüsse und bestimmen die Einschlusswirksamkeit des Wirtsgesteins selbst.	Ja
Erläuterungen					
Der integrale Strömungswiderstand über die Schacht- bzw. Rampenverschlüsse bestimmt die Fluidbewegungen zwischen dem Deckgebirge und dem Grubengebäude, vgl. FEP 2.1.11.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.1 Komponenten					
2.1.5	Z	Deck- und Nebengebirge	Beschreibt die mechanischen, thermischen, hydraulischen und chemisch-mineralogischen Eigenschaften der intakten Gesteinsformationen, die das Wirtsgestein überlagern und zur Erdoberfläche hin abdecken Konzept: alle	Eigenschaften des Deck- und Nebengebirges im Nahbereich der Schächte und Rampen beeinflussen Schacht- bzw. Rampenverschlüsse.	Ja
Erläuterungen					
Der integrale Strömungswiderstand der Schacht- bzw. Rampenverschlüsse bestimmt Fluidbewegungen zwischen Deckgebirge und Grubengebäude, vgl. FEP 2.1.11.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.1 Komponenten					
2.1.6	Z	Auflockerungszone (Schacht und Rampe)	<p>Auflockerungszonen (ALZ) umfassen gebirgsmechanisch beanspruchte Gesteinsbereiche in der Kontur von Schacht und Rampe, ALZ sind durch verminderte mechanische Festigkeit und erhöhte hydraulische Leitfähigkeit gekennzeichnet.</p> <p>Konzept: alle</p>	ALZ stellen Wegsamkeiten dar.	Ja
<p>Erläuterungen</p> <p>Auflockerungszonen bestimmen wesentlich den integralen Strömungswiderstand von Schacht- bzw. Rampenverschlüssen, vgl. FEP 2.1.11. ALZ werden weitgehend entfernt und/oder injiziert.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.1 Komponenten					
2.1.7	Z	Lösungen (Schacht und Rampe)	Umfasst wässrige Lösungen aus Bau- und Betriebsstoffen, Kondenswasser aus dem Wetter oder aus dem Gebirge. Geringe Lösungsmengen werden toleriert, wenn der bestimmungsgemäße Betrieb nicht beeinträchtigt wird. Lösungen werden gefasst und beseitigt, es verbleiben ggf. Lösungen hinter geschlossenem Ausbau. Konzept: alle	A) verfügbare Lösungsmengen zu Beginn der Nachverschlussphase. B) Alteration und Korrosion von Versatzstoffen und Gesteinen. C) Fluiddruck wirkt auf alle Komponenten ein. D) Quellen der Dichtelemente.	A) Ja B) Ja C) Ja D) Ton, Kristallin: Ja Salz: keine
Erläuterungen					
A) Lösungen bilden ein Transportmedium für Radionuklide bzw. chemotoxische Stoffe.					
B) Lösungszusammensetzungen beeinflussen Alteration und Korrosion von Schacht- bzw. Rampenverschlüssen, Ausbau und Auflockerungszonen, siehe FEP 2.2.7 <i>Metallkorrosion (Schacht und Rampe)</i> , FEP 2.2.8 <i>Zementkorrosion (Schacht und Rampe)</i> , FEP 2.2.17 <i>Alteration der Auflockerungszone (Schacht und Rampe)</i> .					
C) Fluiddruck wird bei der Auslegung der Schacht- bzw. Rampenverschlüsse berücksichtigt.					
D) Im Ton- und Kristallingestein bestimmen Lösungsmenge und –zusammensetzung das Quellen von Bentonit in Dichtelementen.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.1 Komponenten					
2.1.8	Z	Flüssige Kohlenwasserstoffe (Schacht und Rampe)	umfassen Betriebsstoffe (Treib- und Schmierstoffe) sowie Kohlenwasserstoffe aus Wirtsgestein oder Deckgebirge. Geringe Mengen werden toleriert, wenn der bestimmungsgemäße Betrieb nicht beeinträchtigt wird. KWS werden weitgehend gefasst und beseitigt, es verbleiben ggf. KWS hinter einem geschlossenen Ausbau. Bitumen und Asphalt im Ausbau bzw. in Verschlüssen sind in FEP 2.1.1 und FEP 2.1.11 beschrieben, gasförmige Kohlenwasserstoffe im FEP 2.1.9 <i>Gase (Schacht und Rampe)</i> . Konzept: alle	A) Geochemisches Milieu, B) Nährstoffe für Mikroben, C) hydraulische Eigenschaften von technischen Maßnahmen und D) Brandlasten.	A) Ja B) Ja C) Ja D) Ja
Erläuterungen A) flüssige KWS beeinflussen pH, eh, Lösungszusammensetzung, Komplexbildner etc. B) Das Nährstoffangebot bestimmt die mikrobielle Aktivität. C) Öle und Fette können wässrige Phasen im Porenraum verdrängen, Kohlenwasserstoffe mit hoher Viskosität den Porenraum verstopfen und hydraulische Eigenschaften von Auflockerungszonen, Versatzstoffen und Verschlussbauwerken beeinflussen. D) Flüssige Kohlenwasserstoffe können bei einer Zündung zu Bränden führen, vgl. FEP 2.3.12 <i>Feuer (Schacht und Rampe)</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.1 Komponenten					
2.1.9	Z	Gase (Schacht und Rampe)	Grubenwetter, Frischwetter; Gase der Metallkorrosion und der Zersetzung von Organika sowie KWS-Kondensate. Gase verbleiben ggf. hinter einem geschlossenen Ausbau. Konzept: alle	A) Transportmedium B) Brandlast C) Fluiddruck.	A) Ja B) Ja C) Ja
Erläuterungen					
A) Gase bilden ein Transportmedium für Radionuklide bzw. chemotoxische Stoffe.					
B) Gase können bei einer Zündung Brände und Gasexplosionen auslösen, siehe FEP 2.3.12 <i>Feuer (Schacht und Rampe)</i> und FEP 2.3.13 <i>Gasexplosionen (Schacht und Rampe)</i> .					
C) Gase beeinflussen den Fluiddruck, der als hydraulische Last bei der Auslegung der Verschlüsse berücksichtigt wird.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.1 Komponenten					
2.1.10	Z	Erkundungs- oder Überwa- chungsbohrung (Schacht und Rampe)	Der FEP beschreibt offene und verschlosse- ne Bohrungen im Wirtsgestein und Deckgebirge sowie deren chemische, hyd- raulische und mechanische Eigenschaften. Sie werden nach der Erkundung überfahren oder hochwertig verfüllt und verschlossen. Konzept: alle	Die Bohrungen durchstoßen das Wirtsgestein - ggf. teils die geologische Barriere - und stellen Wegsamkeiten dar.	Ja
Erläuterungen Diese Bohrungen beeinträchtigen ggf. die Einschlusswirksamkeit des Wirtsgesteins. Die hydraulischen Eigenschaften der Bohrlochverfüllung bestimmen, ob eine hydraulisch wirksame Wegsamkeit vorliegt.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.1 Komponenten					
2.1.11	Z	Schacht- und Rampenver- schluss	besteht aus redundant ausgelegten Dicht- elementen und Widerlagern. Das FEP umfasst thermische, mechanische, che- misch-mineralogische und hydraulische Eigenschaften. Konzept: alle	Schacht- bzw. Rampenverschlüsse bestimmen zusammen mit Auflockerungs- und Kontaktzo- nen den integralen Strömungswiderstand.	Ja
<p>Erläuterungen</p> <p>Der integrale Strömungswiderstand über die Schacht- bzw. Rampenverschlüsse bestimmt die Fluidbewegungen zwischen dem Deckgebirge und dem Grubengebäude. Bei einer Funktionseinschränkung oder -ausfall eines Schacht- bzw. Rampenverschlusses können große Lösungsmengen zutreten, die das Systemverhalten im Endlager signifikant verändern. Die stoffliche Zusammensetzung und die mechanische Festigkeit des Schacht- bzw. Rampenverschlusses bestimmen Widerstandsfähigkeit gegen angreifende Lösungen und damit Funktionalität und Lebensdauer des Verschlusses. Unzureichend verschlossene Schächte und Rampen bilden kurze und schnelle Transportpfade aus dem Endlager in der Nachverschlussphase.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.1 Komponenten					
2.1.12	Z	Endlagergebände und Transferbehälter (Schacht und Rampe)	Das FEP beschreibt Materialien und Eigenschaften der Endlagergebäude und Transferbehälter. Mit Transferbehältern werden nicht abgeschirmte Gebinde transportiert. Eine geringe Anzahl von Gebinden kann aufgrund Fertigungs- und Messfehler unerkannte Defekte aufweisen. Ohne weitere Einwirkung werden diese Gebinde als dicht angenommen. Konzept: alle	Endlagergebäude und Transferbehälter werden durch die Schächte bzw. Rampen transportiert. Durch Unfälle können Radionuklide und/oder chemotoxische Stoffe freigesetzt werden.	Ja
Erläuterungen					
Beim Absturz des Förderkorbes bzw. Versagen der Seilbahntechnik (siehe FEP 2.3.1 und 2.3.2) können Radionuklide und/oder chemotoxische Stoffe freigesetzt werden und eine Kontamination des Gebirges verursachen. Die Kontaminationen können langfristig in die Biosphäre gelangen.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.1 Komponenten					
2.1.13	Z	Fahrzeuge (Schacht und Rampe)	Es werden drei Fahrzeugkategorien unterschieden: Bergbaumaschinen, wie Teilschnitt- und Bohrmaschinen, Transportfahrzeuge für Endlagergebäude und Transferbehälter sowie Einlagerungsmaschinen. Im Schacht sind die Fahrzeuge nur Transportgut. Konzept: alle	Keine	Keine
Erläuterungen Die Fahrzeuge verbleiben nicht im Endlager.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.2 Prozesse und Ereignisse					
2.2.1	E/P	Abteufen und Ausbau des Schachtes	Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe beim Schachtabteufen und beim Einbringen des Schachtausbaus. Konzept: alle	Änderungen des Spannungszustandes im Gebirge und der Gesteinseigenschaften (Bildung einer Auflockerungszone).	Ja
Erläuterungen					
Eigenschaften des umgebenden Gesteins beeinflussen die Einspannung der Schachtverschlüsse, vgl. FEP 2.1.11.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.2 Prozesse und Ereignisse					
2.2.2	E/P	Auffahren und Ausbauen der Rampe	beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Auf- fahung und beim Einbringen des Ausbaus. Konzept: Kristallin (alle)	Änderungen des Spannungszustandes im Ge- birge und der Gesteinseigenschaften (Entstehung der Auflockerungszone).	Ja
Erläuterungen					
Eigenschaften des umgebenden Gesteins beeinflussen die Einspannung der Rampenverschlüsse, vgl. FEP 2.1.11.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.2 Prozesse und Ereignisse					
2.2.3	E/P	Montage der Schacht- und Rampeneinbauten	Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe beim Montieren der Schacht- bzw. Rampeneinbauten (Anker, Kabeltrassen, etc.). Konzept: alle	Ausweitung von Auflockerungszonen durch Ankerung im Gebirge	Ja
Erläuterungen					
Änderungen der Auflockerungszone und des umgebenden Gesteins beeinflussen die Schacht- bzw. Rampenverschlüsse, vgl. FEP 2.1.11.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.2 Prozesse und Ereignisse					
2.2.4	E/P	Schachtbetrieb	Umfasst den Schachtbetrieb außerhalb der Schachtförderanlage. Die Schachtförderanlage gehört zu den Anlagen über Tage, siehe FEP 1.2.7. Konzept: alle	A) Erschütterungen können ALZ beeinflussen. B) Schmiermittel etc. (chemotoxische Stoffe)	A) Ja B) Ja
Erläuterungen					
A) Eigenschaften der ALZ beeinflussen Schacht- bzw. Rampenverschluss, vgl. FEP 2.1.11.					
B) Kontamination können in Schacht gelangen und Wirtsgestein kontaminieren, vgl. FEP 2.1.8.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.2 Prozesse und Ereignisse					
2.2.5	E/P	Rampenbetrieb	Umfasst den Rampenbetrieb außerhalb des Seilbahnbetriebs. Der Betrieb der Seilbahn gehört zu den Anlagen über Tage, siehe FEP 1.2.8. Konzept: Kristallin (alle)	A) Erschütterungen können ALZ beeinflussen. B) Schmiermittel etc. (chemotoxische Stoffe)	A) Ja B) Ja
Erläuterungen					
A) Eigenschaften der ALZ beeinflussen Schacht- bzw. Rampenverschluss, vgl. FEP 2.1.11.					
B) Kontamination durch Schmiermittel können in Rampe gelangen und Wirtsgestein kontaminieren, vgl. FEP 2.1.8.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.2 Prozesse und Ereignisse					
2.2.6	E/P	Bewetterung (Schacht und Rampe)	beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchte). Schächte und Rampen dienen auch zur Lei- tung von Frisch- und Abwettern. Konzept: alle	Eigenschaften der ALZ.	Keine
Erläuterungen Die Bewetterung wird nach der Betriebsphase eingestellt. Wetter können die Kontur der Schächte und Rampen alterieren: Schacht- bzw. Rampen- ausbau im Tongestein lässt keinen relevanten Einfluss der Wetter erwarten; Einflüsse im Salz oder Kristallin werden als unerheblich eingeschätzt.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.2 Prozesse und Ereignisse					
2.2.7	E/P	Metallkorrosion (Schacht und Rampe)	(Elektro-)chemische Reaktion von Metallen mit den Stoffen der Umgebung bei Gegenwart von wässrigen Lösungen oder Wasserdampf. Metalle liegen im Ausbau und in Einbauten vor. Der Ausbau verbleibt – außer bei Verschlüssen – und Einbauten werden geraubt. Konzept: alle	A) Anaerobe Korrosion bewirkt Gasbildung. B) Anker korrodieren und können Wegsamkeiten bilden. C) Geochemisches Milieu	A) Keine B) Keine C) Ja
Erläuterungen					
A) Die im Schacht- und Rampenausbau durch Korrosion gebildete Gasmenge wird als vernachlässigbar eingeschätzt. B) Da im Bereich der Verschlüsse keine Anker eingesetzt werden, wird die Dichtfunktion der Verschlüsse nicht beeinträchtigt werden. C) Fe-Ionen der verbliebenen Metalle im Schacht- bzw. Rampenausbau gelangen in Lösungen und verändern deren Zusammensetzungen.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampe					
2.2 Prozesse und Ereignisse					
2.2.8	E/P	Zementkorrosion (Schacht und Rampe)	Chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit Lösungen. Zementphasen liegen in Verschlussbauwerken, im Ausbau und in Einbauten vor. Ausbau verbleibt – außer bei Verschlüssen, Einbauten werden geraubt. Konzept: alle	A) Beeinflussung der Verschlussbauwerke B) Beeinträchtigung der mechanischen Stabilität C) Beeinflussung des geochemischen Milieus	A) Ja B) Salz: Keine Ton, Kristallin: Ja C) Ja
Erläuterungen					
A) Durch Korrosion von Zement können mechanische und hydraulische Eigenschaften der Verschlussbauwerke (Dichtelement, Widerlager) verändert werden.					
B) Durch Entfestigung des Betonausbau wird die stabilisierende Funktion vermindert und Spannungsumlagerungen ausgelöst. Im Salz gibt es nur vereinzelt Betonausbau.					
C) Korrosionsprodukte der Zementphasen gelangen in Lösung und verändern deren Zusammensetzung.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.2 Prozesse und Ereignisse					
2.2.9	E/P	Spannungsänderung (Schacht und Rampe)	Veränderungen des Beanspruchungszustandes in Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch, thermisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten sowie Änderungen des Fluiddrucks in Lösungen und Gasen. Spannungsänderungen können aus betrieblichen Lasten (z. B. Förderbetrieb), chemischen Prozessen (z. B. Quellen von Baustoffen) oder der Geosphäre (z. B. Erdbeben) resultieren. Konzept: alle	Spannungsänderungen bewirken Konvergenz und Verformungen; sie können Gebirgsbewegungen, Gesteinsentfestigungen, Aufweitungen von Auflockerungszonen, Wegsamkeiten (z. B. Klüften und Störungen) hervorrufen.	Ja
Erläuterungen Spannungszustände in umgebenden Gebirgsbereichen bestimmen den Ausgangszustand für die Konvergenzverläufe in der Nachbetriebsphase, vgl. FEP 2.2.10 Konvergenz. Wegsamkeiten stellen potenzielle Transportpfade dar, vgl. FEP 2.1.6 Auflockerungszone (Schacht und Rampe). Gebirgsbewegungen und Gesteinsentfestigungen beeinflussen die Einschlusswirksamkeit des Wirtsgesteins, vgl. FEP 2.1.4 Wirtsgestein (Schacht und Rampe).					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.2 Prozesse und Ereignisse					
2.2.10	E/P	Konvergenz (Schacht und Rampe)	Die Konvergenz bezeichnet die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im umgebenden Gebirge einsetzen. Konzept: alle	A) Schließen der Auflockerungszone B) Einspannen der Verschlussbauwerke	A) Ja B) Ja
Erläuterungen					
A), B) Die Prozesse bestimmen die Funktionalität der Schacht- bzw. Rampenverschlüsse. u. a. deren integrale Permeabilität und mechanische Festigkeit.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.2 Prozesse und Ereignisse					
2.2.11	E/P	Fluidzutritt (Schacht und Rampe)	Übertritt von Fluiden (Lösungen, Gase und flüssige Kohlenwasserstoffe) aus dem Deckgebirge oder dem Wirtsgestein in den Schacht bzw. die Rampe. Konzept: alle	A) Beeinflussung des geochemischen Milieus B) Alterations- und Korrosionsprozesse der Schacht- bzw. Rampenverschlüsse. C) Fluiddruck D) Bildung explosionsfähiger Gasgemische E) Entstehung eines Feuers F) Flutung von Schacht bzw. Rampe	A) Ja B) Ja C) Ja D) Ja E) Ja F) Ja
Erläuterungen					
Die verfügbaren Fluidmengen zu Beginn der Nachverschlussphase verändern sich.					
A) Fluidzusammensetzungen und -mengen beeinflussen u. a. Komplexierung, Ausfällung (Löslichkeit), Sorption und mikrobielle Prozesse.					
B) Fluide bewirken chemische Reaktionen in der Auflockerungszone, in den Schacht- bzw. Rampenverschlüssen und im Ausbau, siehe FEP 2.2.7 <i>Metallkorrosion (Schacht und Rampe)</i> , FEP 2.2.8 <i>Zementkorrosion (Schacht und Rampe)</i> und FEP 2.2.17 <i>Alteration der Auflockerungszone (Schacht und Rampe)</i> , mit Auswirkungen auf mechanische und hydraulische Eigenschaften.					
C) Fluidzutritte verändern den Fluiddruck und damit die hydraulische Last der Verschlüsse.					
D) Explosive Gasgemische können die Integrität der geotechnischen und geologischen Barrieren beeinträchtigen, siehe FEP 2.3.13 <i>Explosion (Schacht und Rampe)</i> .					
E) Flüssige Kohlenwasserstoffe stellen eine Brandlast dar und können entzündet werden, siehe FEP 2.3.12 <i>Feuer (Schacht und Rampe)</i>					
F) Ein starker Lösungszutritt kann die weitere Einlagerung sowie Verfüll- und Verschlussmaßnahmen verhindern, siehe FEP 2.3.11 <i>Flutung der Grubenbaue (Schacht und Rampe)</i> . Das Endlagersystem verändert sich völlig, eine Neubewertung der Sicherheit des Endlagers ist erforderlich.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.2 Prozesse und Ereignisse					
2.2.12	E/P	Zersetzung von Organika (Schacht und Rampe)	Das FEP umfasst die mikrobielle Degradation von organischen Bestandteilen und Kohlenwasserstoffen. Konzept: alle	A) Gasbildung B) Beeinflussung des geochemischen Milieus C) Funktionalität der Schacht- bzw. Rampenverschlüsse.	A) Ja B) Ja C) Nein
Erläuterungen					
A) beeinflusst die Gasmenge (siehe FEP 2.1.9), Methan kann zur Bildung explosiver Gasgemische führen (siehe FEP 2.3.13).					
B) Kohlendioxid, Schwefelwasserstoff, organische Säuren u. a. können zu Änderungen des pH-Wertes in Lösung führen.					
C) Die Degradation von Asphalt in der relativ kurzen Betriebsphase kann die Dichtfunktionen von Schacht- bzw. Rampenverschlüssen nicht beeinträchtigen, erst die fortschreitende Degradation von Asphalt in der Nachbetriebsphase.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.2 Prozesse und Ereignisse					
2.2.13	E/P	Erstellen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Schacht und Rampe)	Stoßen und Verfüllen bzw. Verschließen von Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen. Konzept: alle	A) Anbohren von unerkannten Fluidreservoirren. B) Erkundungsbohrungen sind Wegsamkeiten.	A) Ja B) Ja
Erläuterungen A) Durch das Anbohren von unerkannten Lösungs- und Gasreservoirren im Deckgebirge oder Wirtsgestein können Lösungen und Gase dem Grubengebäude zutreten und den Ausgangszustand für die Nachverschlussphase verändern, siehe FEP 2.2.11 <i>Fluidzutritt (Schacht und Rampe)</i> . B) Unzureichend verschlossene Erkundungsbohrungen können hydraulisch wirksame Wegsamkeiten darstellen und somit die Einschlußwirksamkeit des Wirtsgesteins beeinträchtigen, siehe FEP 2.1.10 <i>Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Schacht und Rampe)</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.2 Prozesse und Ereignisse					
2.2.14	E/P	Einbringen des Schacht- und Rampenverschlusses	Einbringen der Dichtelemente und Widerlager in Schacht bzw. Rampe. Konzept: alle	Die Qualität der Errichtung eines Verschlusses bestimmt seine Eigenschaften und gewährleistet seine Funktion.	Ja
Erläuterungen					
Funktionseinschränkungen oder Ausfall eines Schacht- bzw. Rampenverschlusses können die Langzeitentwicklung verändern und den Schadstofftransport begünstigen, siehe FEP 2.1.11 <i>Schacht- und Rampenverschluss</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.2 Prozesse und Ereignisse					
2.2.15	E/P	Wärmestrom (Schacht und Rampe)	Das FEP beschreibt die Übertragung von Wärme in Schächten und Rampen aus dem geothermischen Wärmefluss und klimati- schen Einflüssen. In der Betriebsphase wird Wärme in Schacht und Rampe über Wetter in die Atmosphäre transferiert. Konzept: alle	Der Wärmestrom in den Schächten und Ram- pen beeinflusst die A) Verformung des Salzgesteins (Konver- genz), B) Reaktionsgeschwindigkeit chemischer Pro- zesse C) thermomechanischen Spannungen	A) Salz: Ja; Ton, Kris- tallin: keine B) Ja C) Nein
Erläuterungen					
A) Im Salz wird die Konvergenz von der Wärme beeinflusst und ist wichtig für das Schließen der Auflockerungszone um diese, siehe FEP 2.2.10 <i>Konvergenz (Schacht und Rampe)</i> .					
B) Wärme beeinflusst Korrosions- und Alterationsprozesse von Baustoffen und ALZ, bspw. siehe FEP 2.2.8 <i>Zementkorrosion (Schacht und Rampe)</i> und FEP 2.2.17 <i>Alteration der Auflockerungszone (Schacht und Rampe)</i> .					
C) geringe Temperaturdifferenzen in Schacht und Rampe.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.2 Prozesse und Ereignisse					
2.2.16	E/P	Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Schacht und Rampe)	<p>Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen beschreiben Aufnahme bzw. Verlust von Wasser in der Strukturschicht von Tonmineralen bezeichnet. Im eingespannten Zustand eines Tonkörpers führt es zur Quelldruckänderung, im freien Zustand zur Volumenänderung.</p> <p>Konzept: alle</p>	Dichtfunktion von Verschlussbauwerken	Ja
<p>Erläuterungen Die Funktionalität von Dichtelementen in den Schächte oder Rampen hängt vom Quellen der Tonminerale ab, siehe FEP 2.1.11 <i>Schacht- und Rampenverschluss</i>.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.2 Prozesse und Ereignisse					
2.2.17	E/P	Alteration der Auflockerungszone (Schacht und Rampe)	Das FEP umfasst chemisch-mineralogische Umwandlungen der Auflockerungszone durch Wetter oder zutretende Lösungen. Konzept: alle	Gipsbildung an der Hohlraumkontur im Salz.	Salz: Ja; Ton, Kristallin: keine
Erläuterungen					
Volumenzunahme durch Gipsbildung bzw. Umlösung beeinflusst mechanische und hydraulische Eigenschaften der Auflockerungszonen.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.2 Prozesse und Ereignisse					
2.2.18	E/P	Thermische Expansion oder Kontraktion (Schacht und Rampe)	Das FEP beschreibt Volumenzunahme bzw. -abnahme von Fluiden und Feststoffen durch Veränderung der Temperatur. Konzept: alle	keine.	Nein
Erläuterungen					
Die kontinuierliche Bewetterung von Schächten und Rampen lässt nur geringere Temperaturunterschiede zu, so dass thermische bedingte Spannungen geringfügig ausfallen.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.2 Prozesse und Ereignisse					
2.2.19	E/P	Überwachung (Schacht und Rampe)	Kontrollaktivitäten, um den bestimmungs- gemäßen Betrieb bzw. die erwarteten Standortbedingungen zu Beginn der Nach- verschlussphase zu gewährleisten. Konzept: alle	Keine	Keine
Erläuterungen					
Das Monitoring für Langzeitentwicklungen ist gegenwärtig kein Bestandteil der Endlagerkonzepte und wird daher nicht berücksichtigt. Die technischen Maßnahmen der Betriebsüberwachung sind Bestandteil der technischen Einrichtungen.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.2 Prozesse und Ereignisse					
2.2.20	E/P	Reparatur und Wartung (Schacht und Rampe)	Arbeiten an Einbauten, am Ausbau und an der Fördertechnik der Schächte und Ram- pen. Konzept: alle	Beim bestimmungsgemäßen Betrieb wird der Betriebsablauf durch Reparatur und Wartung nicht gestört.	Keine
Erläuterungen					
Unterbrechungen im Betriebsablauf sind möglich, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
2.3.1	E/P	Versagen der Schachtförder- technik	Versagen von Systemen mit sicherheits- technischer Bedeutung (wie Stromversorgung, Leittechnik, Bremssysteme), durch menschliche und technische Fehler, Korrosion oder mechanische Lasten. Konzept: alle	Keine	Keine
Erläuterungen					
Die Schachtfördertechnik ist nur für die Betriebsphase relevant.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
2.3.2	E/P	Versagen der Seilbahntechnik	Versagen von Systemen mit sicherheits- technischer Bedeutung (wie Stromversorgung, Leittechnik, Bremssysteme), durch menschliche und technische Fehler, Korrosion oder mechanische Lasten. Konzept: Kristallin (alle)	keine	keine
Erläuterungen					
Die Seilbahntechnik ist nur für die Betriebsphase relevant.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
2.3.3	E/P	Versagen des Schachtausbaus	Menschliche und technische Fehler und übermäßige Lasten und Erschütterungen bedingen Ausbrechen des Schachtausbaus. Konzept: alle	A) Funktionsfähigkeit der Verschlussbauwerke. B) Lösungs- und Gaszutritte. C) Stützwirkung des Ausbaus.	A) keine B) Ja C) Ja
Erläuterungen					
A) Ausbau wird an den Einbauorten der Verschlussbauwerke entfernt.					
B) Durch eingeschränkte Dichtwirkung des Schachtausbaus können Lösungen und Gase dem Schacht zutreten, vgl. FEP 2.3.11 <i>Flutung der Grubenbaue (Schacht und Rampe)</i>					
C) Durch eingeschränkte Stützwirkung des Ausbaus können sich Gesteinsauflockerungen in der Kontur ausweiten, siehe FEP 2.1.1 <i>Schacht- und Rampenausbau</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
2.3.4	E/P	Versagen des Rampenausbaus	Menschliche und technische Fehler und übermäßige Lasten und Erschütterungen bedingen Ausbrechen des Rampenausbaus. Konzept: alle	A) Funktionsfähigkeit der Verschlussbauwerke B) Lösungs- und Gaszutritte C) Stützwirkung des Ausbaus	A) keine B) keine C) Ja
Erläuterungen					
A) Ausbau wird an den Einbauorten der Verschlussbauwerke entfernt.					
B) Rampen werden nicht mit geschlossenem Verbundausbau gesichert.					
C) Durch fehlende Stützwirkung des Ausbaus können sich Gesteinsauflockerungen ausweiten, siehe FEP 2.1.1 <i>Schacht- und Rampenausbau</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
2.3.4	E/P	Versagen der Schachteinbauten	Schachteinbauten können durch menschliche und technische Fehler, Alteration, Korrosion oder hohe mechanische Lasten (z. B. Erdbeben) und Erschütterungen beschädigt werden. Konzept: alle	Keine	Keine
Erläuterungen Schachteinbauten werden vollständig zurückgebaut.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
2.3.4	E/P	Versagen der Rampeneinbauten	Rampeneinbauten können durch menschliche und technische Fehler, Alteration, Korrosion oder hohe mechanische Lasten (z. B. Erdbeben) und Erschütterungen beschädigt werden. Konzept: alle	Keine	Keine
Erläuterungen Rampeneinbauten werden vollständig zurückgebaut.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
2.3.5	E/P	Versagen des Schacht- oder Rampenverschlusses	Die Verschlüsse können durch menschliche und technische Fehler, Spannungsumlagerungen und Auflockerungszonen in ihrer Funktionalität eingeschränkt werden. Korrosion eines Widerlagers kann die Einspannung der Dichtelemente reduzieren. Grund für die eingeschränkte Funktionalität sind Änderungen der mechanischen und hydraulischen Eigenschaften der Verschlüsse, z. B. durch Rissbildung oder Kanalisierung. Konzept: alle	A) Reparatur oder Ersatz des Verschlusses B) Funktionsfähigkeit des Verschlusses	A) Ja B) Ja
Erläuterungen A) Bei lang andauernden Reparaturarbeiten können sich Standortbedingungen zu Beginn der Nachverschlussphase verändern, siehe FEP 0.1.1. B) Die Funktionalität der Schacht- und Rampenverschlüsse – v. a. die hydraulischen Eigenschaften – ist für Systementwicklungen und Langzeitsicherheit von herausragender Bedeutung, siehe FEP 2.1.11 <i>Schacht- und Rampenverschluss</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
2.3.6	E/P	Versagen des Verschlusses einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Schacht und Rampe)	Das FEP beschreibt Verschlüsse, die durch menschliche und technische Fehler, Korrosion, Spannungsumlagerungen und Auflockerungszonen in der Funktion eingeschränkt werden. Konzept: alle	Bildung von hydraulischen Wegsamkeiten	Ja
Erläuterungen					
Eine neue hydraulische Wegsamkeit kann Lösungs- und Gaszutritte auslösen sowie Fluidbewegungen und Transport von Schadstoffen in der Nachverschlussphase ungünstig beeinflussen, siehe FEP 2.2.13.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
2.3.7	E/P	Versagen von Bergbaumaschinen (Schacht und Rampe)	Im Schacht sind Bergbaumaschinen Transportgut und können beschädigt werden. Konzept: alle	keine	keine
Erläuterungen Die Fahrzeuge werden spätestens zum Ende der Betriebsphase entfernt.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
2.3.8	E/P	Versagen von Transportfahr- zeugen (Schacht und Rampe)	Transportfahrzeuge sind in Schacht und Rampe Transportgut und können beschädigt werden. Konzept: alle	keine	keine
Erläuterungen					
Die Fahrzeuge werden spätestens zum Ende der Betriebsphase entfernt.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
2.3.9	E/P	Versagen von Einlagerungs- maschinen (Schacht und Rampe)	Einlagerungsmaschinen sind in Schacht und Rampe Transportgut und können beschädigt werden Konzept: alle	keine	keine
Erläuterungen					
Die Einlagerungsmaschinen werden spätestens zum Ende der Betriebsphase entfernt.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
2.3.10	E/P	Abschalungen und Löser (Schacht und Rampe)	Spannungsumlagerungen im Wirtsgestein und im Deckgebirge erweitern aufgelockerte und entfestigte Gesteinsbereiche. Diese können Risse bzw. Klüfte bilden, die zum Aufblättern oder Ausbrechen von Gestein an der Schachtkontur führen. Konzept: alle	In nicht ausgebauten Konturbereichen und beim Versagen des Ausbaus können Abscha- lungen und Löser entstehen und A) Auflockerungszonen ausweiten, B) den Absturz des Förderkorbes bzw. das Versagen der Seilbahntechnik hervorrufen, C) Schacht bzw. Rampe stark beschädigen.	A) Ja B) Nein C) Ja
Erläuterungen					
A) Auflockerungszonen bestimmen den Strömungswiderstand der Schacht- und Rampenverschlüsse, vgl. FEP 2.1.6 <i>Auflockerungszone (Schacht und Rampe)</i> .					
B) siehe FEP 2.3.1 <i>Versagen der Schachtfördertechnik (Schacht und Rampe)</i> , 2.3.2 <i>Versagen der Seilbahntechnik (Schacht und Rampe)</i>					
C) Ein neuer Schacht bedeutet eine zusätzliche Wegsamkeit durch das Wirtsgestein und ein eingeschränkter Einschluss der Schadstoffe. Es gäbe zudem eine lang andauernde Unterbrechung des Betriebsablaufs, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.3.11	E/P	Flutung der Grubenbaue (Schacht und Rampe)	Das Gebirge kann stark wasserführende Aquifere enthalten, die einen starken Zutritt verursachen, der technisch nicht beherrscht werden kann. Konzept: alle	A) Unfälle, z. B. Förderkorbabsturz. B) Umlösungen im Salzgebirge C) Betriebsunterbrechung.	A) Ja B) Salz: Ja; Ton, Kristallin: Nein C) Ja
Erläuterungen A) Unfälle können zur Freisetzung von Radionukliden und chemotoxischen Stoffen führen und Kontaminationen des Gebirges verursachen. B) Umlösung von Salzmineralen im Wirtgestein kann die geologische Barriere beeinträchtigen. C) Einlagerung und Verschlussmaßnahmen können erst verspätet oder gar nicht durchgeführt werden. Eine lange Unterbrechung im Betriebsablauf kann zu veränderten Standortbedingungen zu Beginn der Nachverschlussphase führen, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
2.3.12	E/P	Feuer (Schacht und Rampe)	Flammenbildung bei der Verbrennung. Ein Feuer kann in allen Bereichen des Grubengebäudes mit Brandlasten und Zündereignissen auftreten, z. B. Wärme und Funken. Voraussetzungen für ein Feuer sind Brennstoff, Luft und Zündung. Konzept: alle	A) Funktionseinschränkung von Verfüll- und Verschlussmaßnahmen. B) Schädigung von Gebirgsbereichen. C) Beschädigung von Endlagergebinden. D) lange bis dauerhafte Betriebsunterbrechung.	A) Ja B) Ja C) Ja D) Ja
Erläuterungen					
<p>A) Die Funktion der Schacht- und Rampenverschlüsse ist für die Systementwicklung von herausragender Bedeutung, siehe FEP 2.1.11 <i>Schacht- und Rampenverschluss</i>.</p> <p>B) Gesteinsveränderungen und -entfestigungen beeinflussen die Einschlusswirksamkeit des Wirtsgesteins, vgl. FEP 2.1.4 <i>Wirtsgestein (Schacht und Rampe)</i>.</p> <p>C) Beschädigungen können zur Freisetzung von Radionukliden bzw. chemotoxischen Stoffen führen und Kontaminationen des Gebirges verursachen, siehe FEP 2.3.15 und 2.3.16. Kontaminationen können langfristig in die Biosphäre gelangen.</p> <p>D) Eine lange Unterbrechung kann zu veränderten Standortbedingungen zu Beginn der Nachverschlussphase führen, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i>.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
2.3.13	E/P	Explosion (Schacht und Rampe)	<p>Durch Explosionen werden Temperatur-, Druck- und Bewegungsenergie freigesetzt, z. B. Sprengen und <u>explosive Gasgemische</u>. Es werden große Gas- und Wärmemengen freigesetzt und starke Druckwellen gebildet, die das Volumen der Gase plötzlich ausdehnen.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Funktionseinschränkungen von Verfüll- und Verschlussmaßnahmen. B) Schädigung von Gebirgsbereichen. C) Beschädigung von Endlagergebänden. D) lange bis dauerhafte Betriebsunterbrechung.</p>	<p>A) Ja B) Ja C) Ja D) Ja</p>
<p>Erläuterungen</p> <p>A) Die Funktionalität der Schacht- und Rampenverschlüsse ist für die Systementwicklung und die Langzeitsicherheit von herausragender Bedeutung, siehe FEP 2.1.11 <i>Schacht- und Rampenverschluss</i>.</p> <p>B) Gesteinsveränderungen und -entfestigungen beeinflussen die Einschlusswirksamkeit des Wirtsgesteins, vgl. FEP 2.1.4 <i>Wirtsgestein (Schacht und Rampe)</i>.</p> <p>C) Beschädigungen können zur Freisetzung von Radionukliden bzw. chemotoxischen Stoffen führen und Kontaminationen des Gebirges verursachen, siehe FEP 2.3.15 und 2.3.16. Die Kontaminationen können langfristig in die Biosphäre gelangen.</p> <p>D) Eine lange Unterbrechung kann zu veränderten Standortbedingungen zu Beginn der Nachverschlussphase führen, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i>.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
2.3.14	E/P	Bläser (Schacht und Rampe)	Gasexhalationen mit hohem Druck und hohen Volumenströmen. Konzept: Ton (alle), Salz (alle)	A) Funktionseinschränkungen von Verfüll- und Verschlussmaßnahmen. B) Schädigung von Gebirgsbereichen. C) Beschädigung von Endlagergebinden. D) Bläser bilden Brandlasten. E) längerfristige bis dauerhafte Betriebsunterbrechung.	A) Ja B) Ja C) Ja D) Ja E) Ja
Erläuterungen					
<p>A) Die Funktionalität der Schacht- und Rampenverschlüsse ist für die Systementwicklung und die Langzeitsicherheit von herausragender Bedeutung, siehe FEP 2.1.11 <i>Schacht- und Rampenverschluss</i>.</p> <p>B) Gesteinsveränderungen und -entfestigungen beeinflussen die Einschlusswirksamkeit des Wirtsgesteins, vgl. FEP 2.1.4 <i>Wirtsgestein (Schacht und Rampe)</i>. Der Zutrittspfad stellt eine Wegsamkeit im einschlusswirksamen Gebirgsbereichs dar.</p> <p>C) Beschädigungen können zur Freisetzung von Radionukliden bzw. chemotoxischen Stoffen führen und Kontaminationen des Gebirges verursachen, siehe FEP 2.3.15 und 2.3.16. Die Kontaminationen können langfristig in die Biosphäre gelangen.</p> <p>D) Brandlasten können Feuer und Explosionen verursachen, FEP 2.3.12 <i>Feuer</i> und FEP 2.3.13 <i>Explosion</i>.</p> <p>E) Eine lange Unterbrechung kann zu veränderten Standortbedingungen zu Beginn der Nachverschlussphase führen, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i>.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
2.3.15	E/P	Freisetzung radioaktiver Stoffe (Schacht und Rampe)	Freisetzung von radioaktiven Stoffen durch Defekte und Beschädigungen von Behältern. Beim Transport von radioaktiven Stoffen können diese bei unerkannten Defekten oder Unfällen von Transportfahrzeugen freigesetzt werden. Konzept: alle	A) Kontaminationen des Gebirges B) längerfristige Betriebsunterbrechung.	A) Ja B) Ja
Erläuterungen					
A) Die Kontaminationen können langfristig in die Biosphäre gelangen.					
B) Eine lange Unterbrechung kann zu veränderten Standortbedingungen zu Beginn der Nachverschlussphase führen, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
2 FEP: Schächte und Rampen					
2.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
2.3.16	E/P	Freisetzung chemotoxischer Stoffe (Schacht und Rampe)	Freisetzungen von chemotoxischen Stoffen durch Defekte und Beschädigungen von Behältern oder Versorgungsleitungen. Konzept: alle	A) Kontaminationen des Gebirges B) längerfristige Betriebsunterbrechung.	A) Ja B) Ja
Erläuterungen					
A) Die Kontaminationen können langfristig in die Biosphäre gelangen.					
B) Eine lange Unterbrechung kann zu veränderten Standortbedingungen zu Beginn der Nachverschlussphase führen, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i> .					

A.3 Teilsystem Grubenbaue außerhalb von Einlagerungsbereichen

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.1 Komponenten					
3.1.1	Z	Ausbau Richt- und Wetterstrecken	<p>Aus Gründen der Arbeits- und Betriebssicherheit werden Richt- und Wetterstrecken (inkl. möglicher Rampen zur Verbindung von Sohlen) während der Betriebsphase durch Streckenausbau stabilisiert.</p> <p>Der Ausbau kann als offener Ausbau durch Anker und Stahlnetze oder als geschlossener Ausbau durch Beton erfolgen.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Einfluss auf Auflockerungszone</p> <p>B) Einfluss auf Konvergenz</p> <p>C) Gasbildung durch Metallkorrosion</p> <p>D) Einfluss auf geochemisches Milieu</p> <p>E) potenzielle Wegsamkeit</p>	<p>A) Ja</p> <p>C) Ja</p> <p>B), D), E) Salz: Keine Ton, Kristallin: Ja</p>
<p>Erläuterungen</p> <p>A) verhindert weitere Auflockerung, fördert das Schließen der Auflockerungszone.</p> <p>B) Salz: nur lokal Verbundausbau im Anhydrit, keine Signifikanz Ton: umfangreicher Ausbau mit Konturstabilisierung und/oder Stützwirkung. Kristallin: Konvergenz sehr gering.</p> <p>C) Metalle wie Anker korrodieren.</p> <p>D) Salz: Salz: nur lokal Verbundausbau im Anhydrit, keine Signifikanz. Ton, Kristallin: Betonausbau wird zumeist nicht entfernt, durch Zementkorrosion wird Lösungszusammensetzung und Feststoffe verändert.</p> <p>E) Salz: lokal begrenzt; gegenüber Auflockerungszone vernachlässigbar, Ton, Kristallin: potenziell durchgehende Wegsamkeit im Ausbau parallel zur Kontur.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.1 Komponenten					
3.1.2	Z	Ausbau der Infrastruktur- bereiche	Aus Gründen der Arbeits- und Betriebssi- cherheit muss der Infrastrukturbereich während der Betriebsphase durch einen Ausbau stabilisiert werden. Der Ausbau kann als offener Ausbau durch Anker und Stahlnetze oder als geschlossener Ausbau durch Beton erfolgen Konzept: alle	A) Einfluss auf Auflockerungszone B) Einfluss auf Konvergenz C) Gasbildung durch Metallkorrosion D) Einfluss auf geochemisches Milieu E) potenzielle Wegsamkeit	A) Ja C) Ja D) Ja B), E) Salz: Kei- ne Ton, Kris- tallin: Ja
Erläuterungen					
<p>A) verhindert weitere Auflockerung, fördert das Schließen der Auflockerungszone.</p> <p>B) Salz: nur lokal Verbundausbau im Anhydrit, keine Signifikanz Ton: umfangreicher Ausbau mit Konturstabilisierung und/oder Stützwirkung. Kristallin: Konvergenz sehr gering.</p> <p>C) Metalle wie Anker korrodieren.</p> <p>D) Salz: Salz: nur lokal Verbundausbau im Anhydrit, keine Signifikanz. Ton, Kristallin: Betonausbau wird zumeist nicht entfernt, durch Zementkorrosion wird Lösungszusammensetzung und Feststoffe verändert.</p> <p>E) Salz: lokal begrenzt; gegenüber Auflockerungszone vernachlässigbar, Ton, Kristallin: potenziell durchgehende Wegsamkeit im Ausbau parallel zur Kontur</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.1 Komponenten					
3.1.3	Z	Technische Einrichtungen (Grubenbau)	Das FEP umfasst alle technischen Komponenten, die beim Bau, Betrieb (mit Überwachung) und Verschluss in das Grubengebäude eingebracht werden, wie z. B. Lutten, Leitungen, Kabel etc. Anker und andere Ausbaukomponenten werden in den entsprechenden FEP behandelt. Konzept: alle	Keine	Keine
Erläuterungen Betriebsstoffe, Metalle u. ä. werden am Ende der Betriebsphase vollständig geraubt.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.1 Komponenten					
3.1.4	Z	Wirtsgestein (Grubenbau)	Das FEP beschreibt die mechanischen, thermischen, hydraulischen und chemisch-mineralogischen Eigenschaften der intakten Gesteinsformation, in der die Einlagerungssohlen aufgefahren werden. Konzept: alle	Zustand und Eigenschaften des Wirtsgesteins im Bereich des Grubengebäudes beeinflussen die integrale Permeabilität der Streckenverschlüsse und bestimmen die Einschlusswirksamkeit des Wirtsgesteins selbst.	Ja
Erläuterungen					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.1 Komponenten					
3.1.5	Z	Auflockerungszone (Grubenbau)	<p>Auflockerungszonen (ALZ) umfassen gebirgsmechanisch beanspruchte Gesteinsbereiche in der Kontur von Grubenbauen. Die ALZ sind durch geringere mechanische Festigkeit und höhere hydraulische Leitfähigkeit gekennzeichnet.</p> <p>Konzept: alle</p>	Auflockerungszonen stellen Wegsamkeiten dar.	Ja
<p>Erläuterungen Die Auflockerungszone bestimmt den integralen Strömungswiderstand eines Streckenverschlusses. Auflockerungszone wird beim Einbau der Verschlussbauwerke reduziert.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.1 Komponenten					
3.1.6	Z	Lösungen (Grubenbau)	Das FEP umfasst wässrige Lösungen aus den Bau- und Betriebsstoffen, Kondenswasser aus den Wettern und Lösungszutritte über Schacht und Rampe aus dem Gebirge. Geringe Lösungsmengen werden toleriert, wenn der bestimmungsgemäße Betrieb nicht beeinträchtigt wird. Lösungen werden gefasst und beseitigt, es verbleiben ggf. Lösungen hinter geschlossenem Ausbau. Konzept: alle	A) verfügbare Lösungsmengen zu Beginn der Nachverschlussphase. B) Alteration und Korrosion von Gesteinen und Versatzstoffen. C) Fluiddruck wirkt auf alle Komponenten ein. D) Quellen der Dichtelemente.	A) Ja B) Ja C) Ja D) Ton, Kristallin: Ja Salz: Keine
Erläuterungen					
<p>A) Lösungen bilden ein Transportmedium für Radionuklide bzw. chemotoxische Stoffe.</p> <p>B) Lösungszusammensetzungen beeinflussen Alteration und Korrosion von Verschlüssen, Ausbau und Auflockerungszonen, siehe z. B. FEP 3.2.5 <i>Metallkorrosion (Grubenbau)</i>, FEP 3.2.6 <i>Zementkorrosion (Grubenbau)</i>, FEP 3.2.18 <i>Alteration der Auflockerungszone (Grubenbau)</i>.</p> <p>C) Fluiddruck wird bei der Auslegung der technischen Barrieren berücksichtigt.</p> <p>D) Im Ton- und Kristallin bestimmen Lösungsmenge und –zusammensetzung das Quellen von Bentonit in Dichtelementen.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.1 Komponenten					
3.1.7	Z	Flüssige Kohlenwasserstoffe (Grubenbau)	<p>Das FEP umfasst Betriebsstoffe (Treib- und Schmierstoffe) sowie Kohlenwasserstoffe aus dem Wirtsgestein. Geringe Mengen werden toleriert, wenn der bestimmungsgemäße Betrieb nicht beeinträchtigt wird. KWS werden weitgehend gefasst und beseitigt, es verbleiben ggf. KWS hinter geschlossenem Ausbau. Bitumen und Asphalt in Verschlüssen werden im FEP 3.1.11 <i>Streckenverschluss</i> beschrieben, gasförmige Kohlenwasserstoffe werden im FEP 3.1.8 <i>Gase (Grubenbau)</i> beschrieben.</p> <p>Konzept: Ton (alle), Salz (alle)</p>	<p>Flüssige Kohlenwasserstoffe beeinflussen</p> <p>A) das geochemische Milieu, B) das Nährstoffangebot für Mikroben, C) hydraulische Eigenschaften technischer Barrieren, D) Brandlasten.</p>	<p>A) Ja B) Ja C) Ja D) Ja</p>
<p>Erläuterungen</p> <p>A) flüssige KWS beeinflussen pH, eh, Lösungszusammensetzung, Komplexbildung etc.</p> <p>B) Das Nährstoffangebot bestimmt die mikrobielle Aktivität.</p> <p>C) Öle und Fette können wässrige Phasen im Porenraum verdrängen, Kohlenwasserstoffe mit hoher Viskosität den Porenraum verstopfen und hydraulische Eigenschaften von Auflockerungszonen, Versatzstoffen und Verschlussbauwerken beeinflussen.</p> <p>D) Flüssige Kohlenwasserstoffe können bei einer Zündung zu Bränden führen, vgl. FEP 3.3.14 <i>Feuer (Grubenbau)</i>.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.1 Komponenten					
3.1.8	Z	Gase (Grubenbau)	<p>Gruben- und Frischwetter, Gase der Metallkorrosion und der Zersetzung von Organika sowie KWS. Gase verbleiben ggf. hinter einem geschlossenen Ausbau. In bereits abgeworfene Grubenbereiche zutretende oder gebildete Gase erhöhen die Gasmenge zu Beginn der Nachverschlussphase.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Transportmedium B) Brandlast C) Fluiddruck</p>	<p>A) Ja B) Ja C) Ja</p>
Erläuterungen					
<p>A) Gase bilden ein Transportmedium für Radionuklide bzw. chemotoxische Stoffe.</p> <p>B) In bereits abgeworfenen Bereichen des Grubengebäudes gebildete Gase beeinflussen die Gasmenge zu Beginn der Nachverschlussphase. Diese Gase können bei einer Zündung Brände und Gasexplosionen auslösen, siehe FEP 3.3.14 <i>Feuer (Grubenbau)</i> und FEP 3.3.15 <i>Explosion (Grubenbau)</i>.</p> <p>C) Gase beeinflussen den Fluiddruck, der als hydraulische Last bei der Auslegung der Verschlüsse berücksichtigt wird.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.1 Komponenten					
3.1.9	Z	Versatz (Grubenbau)	Der FEP umfasst Zustand und Eigenschaften der in Grubenräume eingebrachten Versatzmaterialien sowie deren Verhalten gegenüber chemischen, thermischen, hydraulischen und mechanischen Einwirkungen. Durch die Setzung des Versatzes kann in der frühen Nachverschlussphase ein Firstspalt entstehen. Konzept: alle	A) Abdichtwirkung für Grubenbereiche B) Stützwirkung für Wirtsgestein C) Geochemisches Milieu und Lösungsmenge D) Gasspeicher und Fluiddruck	A) Ja B) Ja C) Ja D) Ja
Erläuterungen					
<p>A) Versatz weist langfristig Strömungswiderstand für Fluidbewegungen auf und bildet eine Flammensperre.</p> <p>B) Stützwirkung erhält Integrität des Wirtsgesteins, geringe bzw. fehlende Konturstabilisierung durch Firstspalten kann zur Vergrößerung der Auflockerungszonen führen - in Ton nur bei gleichzeitigem Versagen des Ausbaus.</p> <p>C) Im Ton und Salz werden arteigene oder kompatible Versatzstoffe, wie Tone bzw. Salzgrus (mit Lösungsanteilen), eingebaut, so dass das geochemische Milieu nur geringfügig beeinflusst wird. Im Salz sind diese Lösungsmengen als Transportmedium relevant, im Ton vergleichsweise gering. Im Kristallin beeinflussen die artfremden Versatzstoffe, wie Tone, das Milieu.</p> <p>D) Der Versatzporenraum bildet ein relevantes Speichervolumen - insbesondere bei Schotterversatz, welches u. a. Fluidbewegungen und Fluiddruck in der Nachbetriebsphase beeinflusst.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.1 Komponenten					
3.1.10	Z	Erkundungs- oder Überwa- chungsbohrung (Grubenbau)	Das FEP beschreibt offene und verschlos- sene Bohrungen im Wirtsgestein sowie deren chemische, hydraulische und mecha- nische Eigenschaften. Sie werden nach der Erkundung überfahren oder hochwertig ver- füllt und verschlossen. Konzept: alle	Die Bohrungen durchstoßen das Wirtsgestein – ggf. teils die geologische Barriere - und stellen Wegsamkeiten dar.	Ja
Erläuterungen Diese Bohrungen beeinträchtigen ggf. die Einschlusswirksamkeit des Wirtsgesteins. Die hydraulischen Eigenschaften der Bohrlochverfüllung bestimmen, ob eine hydraulisch wirksame Wegsamkeit vorliegt. Ein qualitativ hochwertiger Verschluss erhält die Einschlusswirksamkeit des Wirtsgesteins.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.1 Komponenten					
3.1.11	Z	Strecken- verschluss	<p>Streckenverschlüsse bestehen aus zwei redundant ausgeführten Dichtelementen und Widerlagern in den Richtstrecken. Das FEP umfasst thermische, mechanische, chemisch-mineralogische und hydraulische Eigenschaften.</p> <p>Konzept: Ton (alle), Salz (alle), Kristallin (MewG, ÜewG)</p>	<p>A) Abdichtwirkung für Grubenbereiche B) Stützwirkung für Wirtsgestein C) Geochemisches Milieu</p>	<p>A) Ja B) Ja C) Ja</p>
Erläuterungen					
<p>A) Die Verschlüsse begrenzen Lösungsbewegungen zu und aus Grubenbereichen sowie den Schadstofftransport aus den Einlagerungsbereichen.</p> <p>B) Stützwirkung erhält die Integrität des Wirtsgesteins und verhindert die Ausweitung der Auflockerungszonen.</p> <p>C) Verschlussmaterialien beeinflussen die Lösungszusammensetzungen, z. B. durch Zementkorrosion, sowie die Elementlöslichkeiten und das Sorptionsvermögen von Radionukliden.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.1 Komponenten					
3.1.12	Z	Verschlüsse im Bereich von Störungszonen	besteht aus einem Dichtelement und Widerlagern beidseitig von einer Störungszone. Das FEP umfasst thermische, mechanische, chemisch-mineralogische und hydraulische Eigenschaften. Der Bereich der Störungszone wird mit Schotter aufgefüllt, um den Lösungsabfluss in der Störungszone zu ermöglichen. Konzept: Ton (alle), Kristallin (alle)	A) Abdichtung für Störungszonen B) Stützwirkung für das Wirtsgestein C) Geochemisches Milieu.	A) Ja B) Ja C) Ja
Erläuterungen					
A) Die Verschlüsse begrenzen Lösungsbewegungen zu und aus der Störungszone sowie den Schadstofftransport in die Störungszone.					
B) Stützwirkung verhindert die Ausweitung der Störungszone.					
C) Verschlussmaterialien beeinflussen die Lösungszusammensetzung, z. B. durch Zementkorrosion, die Elementlöslichkeiten und das Sorptionsvermögen für Radionuklide.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.1 Komponenten					
3.1.13	Z	Endlagergebände und Transferbehälter (Grubenbau)	<p>Das FEP beschreibt die Materialien und Eigenschaften der Endlagergebäude und Transferbehälter. Mit Transferbehältern werden nicht abgeschirmte Gebinde transportiert.</p> <p>Eine geringe Anzahl von Gebinden kann aufgrund von Fertigungs- und Messfehlern unerkannte Defekte aufweisen. Ohne weitere Einwirkungen werden diese Gebinde als dicht angenommen.</p> <p>Konzept: alle</p>	Endlagergebäude und Transferbehälter werden durch die Strecken und Infrastrukturbereiche transportiert. Durch Unfälle können Radionuklide und/oder chemotoxische Stoffe freigesetzt werden.	Ja
<p>Erläuterungen</p> <p>Beim Versagen von Transportfahrzeugen (vgl. FEP 3.3.10) können Radionuklide und chemotoxische Stoffe freigesetzt werden und eine Kontamination des Gebirges verursachen. Die Kontaminationen können langfristig in die Biosphäre gelangen.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.1 Komponenten					
3.1.14	Z	Fahrzeuge (Grubenbau)	<p>Es werden drei Fahrzeugkategorien unterschieden: Bergbaumaschinen, wie Teilschnitt- und Bohrmaschinen, Transportfahrzeuge für Endlagergebäude und Transferbehälter sowie Einlagerungsmaschinen. In den Grubenbauen sind die Einlagerungsmaschinen nur Transportgut.</p> <p>Konzept: alle</p>	Keine	Keine
<p>Erläuterungen Die Fahrzeuge verbleiben nicht im Endlager.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.2 Prozesse und Ereignisse					
3.2.1	E/P	Auffahrung (Grubenbau)	Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Auffahrung der Grubenräume. Konzept: alle	Änderungen des Spannungszustandes im Ge- birge und der Gesteinseigenschaften (Bildung einer Auflockerungszone).	Ja
Erläuterungen					
Eigenschaften des umgebenden Gesteins beeinflussen die Einspannung der Streckenverschlüsse, vgl. FEP 3.1.11 <i>Streckenverschlüsse</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.2 Prozesse und Ereignisse					
3.2.2	E/P	Ausbau (Grubenbau)	Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe beim Einbringen des Ausbaus. Konzept: Ton (alle), Kristallin (alle)	Beeinflussung der Spannungsverhältnisse im Wirtsgestein und der Eigenschaften der ALZ	Ja
Erläuterungen					
Die Spannungsverhältnisse des Wirtsgesteins und die Eigenschaften des umgebenden Gesteins und der ALZ beeinflussen die Streckenverschlüsse, vgl. FEP 3.1.11 <i>Streckenverschlüsse</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.2 Prozesse und Ereignisse					
3.2.3	E/P	Transportverkehr im Überwachungs- und Kontrollbereich	Das FEP umfasst den Transport von Endlagergebänden, Abraum, Baumaterial, Personal etc. – sowohl schienen- als auch reifengebunden. Konzept: alle	keine	keine
Erläuterungen					
Im Normalbetrieb lässt die Transporttechnik in Infrastrukturbereich und Richtstrecken keine Auswirkungen auf die ALZ und das Wirtsgesteins erwarten. Unfälle bzw. Störfälle werden durch Versagen-FEPs beschrieben, wie z. B. FEP 3.3.4 <i>Versagen von technischen Einrichtungen</i> sowie FEP 3.3.8ff.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.2 Prozesse und Ereignisse					
3.2.4	E/P	Bewetterung (Grubenbau)	Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit). Während des Betriebes müssen die Grubenbaue bewettert werden. Es gibt jahreszeitliche Schwankungen. Konzept: alle	Eigenschaften von Wirtsgestein und ALZ	Salz, Kristallin: Keine Ton: Ja
Erläuterungen					
Im Salz und Kristallin wird der Einfluss aufgrund der kurzen Zeitspanne der Bewetterung als unerheblich eingeschätzt. Im Tongestein ist die Austrocknung bei anhaltender Bewetterung durch geschlossenen Ausbau eingeschränkt, aber nicht zu vernachlässigen. Veränderte Gesteinseigenschaften können z. B. das Sorptionsvermögen beeinflussen.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.2 Prozesse und Ereignisse					
3.2.5	E/P	Metallkorrosion (Grubenbau)	(Elektro-)chemische Reaktion von Metallen mit den Stoffen der Umgebung bei Gegenwart von wässrigen Lösungen oder Wasserdampf. Metalle liegen im Ausbau und in Einbauten vor. Der Ausbau verbleibt – außer bei Verschlüssen, Einbauten werden geraubt. Konzept: alle	A) Anaerobe Korrosion bewirkt Gasbildung. B) Anker korrodieren und können Wegsamkeiten bilden. C) Beeinflussung des geochemischen Milieus.	A) Salz: keine Ton, Kristallin: Ja B) Ja C) Salz: keine Ton, Kristallin: Ja
Erläuterungen A) Anaerobe Gasbildung in abgeworfenen Grubenbereichen in Ton und Kristallin aufgrund von verfügbarer Feuchtigkeit, siehe FEP 3.1.8 Gase (<i>Grubenbau</i>). B) Die Korrosion der Anker kann Risse im Gebirge bilden. Da im Bereich von Verschlüssen keine Anker gesetzt werden, werden die Dichtfunktionen nicht beeinträchtigt. C) Fe-Ionen der verbliebenen Metalle im Ausbau gelangen in Lösungen und verändern deren Zusammensetzungen. In Ton und Kristallin kann infolge dessen eine Alteration der Bentonite erfolgen oder das Quellvermögen der Tonminerale beeinträchtigt werden.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.2 Prozesse und Ereignisse					
3.2.6	E/P	Zementkorrosion (Grubenbau)	Chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit Lösungen. Zementphasen liegen in Verschlussbauwerken und im Ausbau vor und verbleiben nach der Stilllegung. Konzept: alle	A) Beeinflussung des geochemischen Milieus B) Wegsamkeiten im Ausbau C) Beeinflussung der Verschlussbauwerke D) Beeinträchtigung der mechanischen Stabilität	A) Ja B) Salz: keine Ton, Kristallin: Ja C) Ja D) Salz: keine Ton, Kristallin: Ja
Erläuterungen					
<p>A) Korrosionsprodukte gelangen in Lösung und verändern die Zusammensetzung. Dies kann das Quellvermögen der Tone sowie Löslichkeiten und Sorption von Radionukliden beeinflussen.</p> <p>B) Durch Korrosion von Zement können Wegsamkeiten im Betonausbau entstehen. Dies beeinflusst Lösungsbewegungen in der Nachverschlussphase. Im Salz gibt es nur vereinzelt Betonausbau.</p> <p>C) Durch Korrosion von Zement können Widerlager (Salz, Ton, Kristallin) und Dichtelemente (Salz) beeinträchtigt werden.</p> <p>D) Durch Entfestigung des Betonausbaus wird die stabilisierende Funktion vermindert und Spannungsumlagerungen ausgelöst. Im Salz gibt es nur vereinzelt Betonausbau.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.2 Prozesse und Ereignisse					
3.2.7	E/P	Spannungs- änderung (Grubenbau)	Veränderungen des Beanspruchungszu- standes in Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hyd- raulisch, thermisch oder chemisch- mineralogisch induzierte Lasten sowie Ände- rungen des Fluiddrucks in Lösungen und Gasen. Spannungsänderungen können aus betrieb- lichen Lasten, chemischen Prozessen oder der Geosphäre (z. B. Erdbeben) resultieren. Konzept: alle	Spannungsänderungen bewirken Konvergenz und Verformungen und können Gebirgsbewe- gung, Gesteinsentfestigung, Aufweitung von Auflockerungszonen und Klüfte hervorrufen.	Ja
Erläuterungen Spannungszustände in umgebenden Gebirgsbereichen bestimmen den Ausgangszustand für den Konvergenzverlauf in der Nachbetriebsphase, siehe FEP 3.2.8 <i>Konvergenz (Grubenbau)</i> . Gebirgsbewegungen und Gesteinsentfestigungen beeinflussen die Einschlusswirksamkeit des Wirtsgesteins und die ALZ, siehe FEP 3.1.5 <i>Auflockerungszone (Grubenbau)</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.2 Prozesse und Ereignisse					
3.2.8	E/P	Konvergenz (Grubenbau)	Die Konvergenz bezeichnet die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen, die aufgrund von Spannungumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im umgebenden Gebirge einsetzen. Konzept: alle	A) Schließen des Firstspalts B) Kompaktion von Versatz C) Schließen der Auflockerungszone D) Einspannen der Verschlussbauwerke	A), B), C), D) Salz, Ton: Ja Kristallin: keine
Erläuterungen					
Im Salz gelten diese Auswirkungen uneingeschränkt, im Ton nur bei Versagen oder Entfernen des Ausbaus. Im Kristallin ist Konvergenz unbedeutend aufgrund sehr geringer Raten.					
A) Im Versatz bildet sich durch Setzung ein Firstspalt, der durch Konvergenz geschlossen wird.					
B) In versetzten Grubenbereichen beeinflusst die Konvergenz bereits in der Betriebsphase die Kompaktion des Versatzes.					
C) Der Stützdruck des Versatzes verringert die Permeabilität der Auflockerungszone.					
D) Durch Einspannen der Verschlüsse werden mechanische und hydraulische Anfangsbedingungen in der Nachverschlussphase beeinflusst. Der Strömungswiderstand wird durch Schließen der Kontakt- und Auflockerungszone beeinflusst (integrale Permeabilität).					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.2 Prozesse und Ereignisse					
3.2.9	E/P	Fluidzutritt (Grubenbau)	Übertritt von Fluiden (wässrige Lösungen, Gase und flüssige Kohlenwasserstoffe) aus dem Wirtsgestein in das Grubengebäude. Konzept: alle	A) Beeinflussung des geochemischen Milieus B) Alterations- und Korrosionsprozessen der geotechnischen Barrieren C) Beeinflussung des Fluiddrucks D) Bildung explosionsfähiger Gasgemische E) Entstehung eines Feuers F) Flutung von Grubenbereichen	A) Ja B) Ja C) Ja D) Ja E) Ja F) Ja
Erläuterungen					
Die Fluidmengen zu Beginn der Nachverschlussphase ändern sich.					
A) Fluidzusammensetzungen und -mengen beeinflussen u. a. Komplexierung, Ausfällung (Löslichkeit), Sorption und mikrobielle Prozesse.					
B) Fluide bewirken chemische Reaktionen an Verschlüssen und Ausbau, siehe u. a. FEP 3.2.5 <i>Metallkorrosion (Grubenbau)</i> , FEP 3.2.6 <i>Zementkorrosion (Grubenbau)</i> , mit Auswirkungen auf mechanische und hydraulische Eigenschaften.					
C) Fluidzutritte verändern den Fluiddruck und damit die hydraulische Last der Verschlüsse.					
D) Explosive Gasgemische können die Integrität der geotechnischen und geologischen Barrieren beeinträchtigen, siehe FEP 3.3.15 <i>Explosion (Grubenbau)</i> .					
E) Flüssige Kohlenwasserstoffe stellen eine Brandlast dar und können entzündet werden, siehe FEP 3.3.14 <i>Feuer (Grubenbau)</i> .					
F) Ein starker Lösungszutritt kann die weitere Einlagerung sowie Verfüll- und Verschlussmaßnahmen verhindern, siehe FEP 3.3.13 <i>Flutung der Grubenbaue (Grubenbau)</i> . Das Endlagersystem verändert sich völlig, eine Neubewertung ist erforderlich.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.2 Prozesse und Ereignisse					
3.2.10	E/P	Zersetzung von Organika (Grubenbau)	Das FEP umfasst die mikrobielle Degradation von organischen Bestandteilen und Kohlenwasserstoffen. Konzept: alle	A) Gasbildung B) Beeinflussung des geochemischen Milieus C) Funktionalität der Verschlüsse	A) Ja B) Ja C) Keine
Erläuterungen					
A) beeinflusst die Gasmenge, siehe FEP 3.1.8. Methan kann zur Bildung explosiver Gasgemische führen, siehe FEP 3.3.15.					
B) kann insbesondere zur Änderung des pH-Wertes durch organische Säuren und Bildung von Komplexbildnern führen.					
C) Die Degradation von Asphalt in der relativ kurzen Betriebsphase kann die Dichtfunktionen von Streckenverschlüssen nicht beeinträchtigen, erst die fortschreitende Degradation von Asphalt in der Nachbetriebsphase. Im Salz wird kein Asphalt verwendet.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.2 Prozesse und Ereignisse					
3.2.11	E/P	Entfernen von technischen Einrichtungen	Einbauten, wie Lutten, Schienen, Konsolen etc., werden vor dem Abwerfen eines Gru- benbereiches weitgehend entfernt. Konzept: alle	A) Ausweitungen von Auflockerungszonen B) Stoffinventare	A) Ja B) Ja
Erläuterungen					
A) Änderungen der Auflockerungszone und des umgebenden Gesteins beeinflussen die Verschlüsse, siehe FEP 3.1.11 <i>Streckenverschluss</i> und FEP 3.1.12 <i>Verschlüsse im Bereich von Störungszonen</i> .					
B) Nur bei nicht anforderungsgerechter Stilllegung bleiben Einbauteile zurück. Diese müssen dann bei den Anfangsinventaren berücksichtigt werden.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.2 Prozesse und Ereignisse					
3.2.12	E/P	Einbringen von Versatz (Grubenbau)	Das FEP umfasst das Einbringen von Versatz während des Einlagerungsbetriebs im Rückbau. Versetzen des Infrastrukturbereiches erfolgt am Ende der Betriebsphase. Konzept: alle	Die Qualität des Einbaus bestimmt mechanische, chemische und hydraulische Eigenschaften des Versatzes.	Ja
Erläuterungen					
Die Einbringung bestimmt die Eigenschaften vom Versatz am Ende der Betriebsphase und damit die Anfangsbedingungen für die Nachverschlussphase, siehe FEP 3.1.9 <i>Versatz (Grubenbau)</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.2 Prozesse und Ereignisse					
3.2.13	E/P	Erstellen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Grubenbau)	Stoßen und Verfüllen bzw. Verschließen von Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen. Konzept: alle	A) Anbohren von unerkannten Fluidreservoirien B) Erkundungsbohrungen sind Wegsamkeiten	A) Ja B) Ja
Erläuterungen					
A) Durch das Anbohren von unerkannten Lösungs- und Gasreservoirien im Wirtsgestein können Lösungen und Gase dem Grubengebäude zutreten und den Ausgangszustand für die Nachverschlussphase verändern, siehe FEP 3.2.9 <i>Fluidzutritt (Grubenbau)</i> .					
B) Unzureichend verschlossene Erkundungsbohrungen können hydraulisch wirksame Wegsamkeiten darstellen und die Einschlusswirksamkeit des Wirtsgesteins beeinträchtigen, siehe FEP 3.1.10 <i>Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Grubenbau)</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.2 Prozesse und Ereignisse					
3.2.14	E/P	Errichten eines Streckenverschlusses	Einbringen von Dichtelementen und Widerlagern in Strecken nach Entfernen des Ausbaus. Konzept: alle	Die Qualität der Errichtung eines Verschlusses bestimmt seine Eigenschaften und gewährleistet seine Funktion.	Ja
Erläuterungen Die Funktion eines Streckenverschlusses beeinflusst die Langzeitentwicklung und den Schadstofftransport, siehe FEP 3.1.11 <i>Streckenverschluss</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.2 Prozesse und Ereignisse					
3.2.15	E/P	Errichten eines Verschlusses im Bereich einer Störungszone	Einbringen von Dichtelementen und Widerlagern in Bereichen mit Störungszonen nach Entfernen des Ausbaus. Konzept: Ton (alle), Kristallin (alle)	Die Qualität der Errichtung eines Verschlusses bestimmt seine Eigenschaften und gewährleistet seine Funktion.	Ja
Erläuterungen					
Die Funktion eines Verschlusses beeinflusst die Langzeitentwicklung und den Schadstofftransport, siehe FEP 3.1.12 <i>Verschlüsse im Bereich von Störungszonen</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.2 Prozesse und Ereignisse					
3.2.16	E/P	Wärmestrom (Grubenbau)	Das FEP beschreibt die Übertragung von Wärme vom Gebirge, von Maschinen und nach der Einlagerung der Endlagergebäude von diesen in das umliegende Gebirge und die Grubenbaue. Konzept: alle	Der Wärmestrom in Richtstrecken und Infrastrukturbereichen beeinflusst die A) das Verformungsverhalten des Salzes (Konvergenz), B) die Reaktionsgeschwindigkeit chemischer Prozesse, C) thermomechanische Spannungen.	A) Salz: Ja Ton, Kristallin: keine B) Ja C) Ja
Erläuterungen					
A) Im Salz wird die Konvergenz von der Wärme beeinflusst und ist wichtig für das Schließen von Auflockerungszonen, siehe FEP 3.2.8 <i>Konvergenz (Grubenbau)</i> .					
B) Wärme beeinflusst Korrosions- und Alterationsprozesse von Baustoffen und ALZ, bspw. siehe FEP 3.2.18 <i>Alteration der Auflockerungszone (Grubenbau)</i> .					
C) Temperaturdifferenzen bewirken thermomechanische Spannungen im Ausbau, in Verschlüssen und im Wirtsgestein, siehe FEP 3.2.19 <i>Thermische Expansion oder Kontraktion (Grubenbau)</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.2 Prozesse und Ereignisse					
3.2.17	E/P	Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Grubenbau)	Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Schichtschichten von Tonmineralen bezeichnet. Im eingespannten Zustand eines Tonkörpers führt es zur Quelldruckänderung, im freien Zustand zur Volumenänderung. Konzept: Ton (alle), Kristallin (alle)	A) Beeinflussung der Funktionen von Verschlussbauwerken und Versatz B) Beeinflussung der Auflockerungszonen	A) Ja B) Ja
Erläuterungen					
A) Die Funktionalität von Dichtelementen und Versatz aus Bentonit hängt vom Quellen der Tonminerale ab, siehe FEP 3.1.9 <i>Versatz (Grubenbau)</i> und FEP 3.1.11 <i>Streckenverschluss</i> .					
B) Das Schließen der Auflockerungszonen um Bentonit wird durch den Quelldruckaufbau bestimmt.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.2 Prozesse und Ereignisse					
3.2.18	E/P	Alteration der Auflockerungszone (Grubenbau)	Das FEP umfasst chemisch-mineralogische Umwandlungen der Auflockerungszone durch Wetter oder zutretende Lösungen. Konzept: alle	A) Reduzierung der Feuchtigkeit in konturnahen Gebirgsbereichen im Ton. Kondensation von Feuchtigkeit an der Hohlraumkontur im Salz (Gipsbildung). B) Umlösung von Salzmineralen und Umwandlung von Mineralen im Ton und Kristallin durch Lösungen.	A) Salz, Ton: Ja Kristallin: Keine B) Ja
Erläuterungen					
A) Schrumpfen und Rissbildungen sowie Pyritoxidation zu Eisenhydroxiden im Ton sowie Gipsbildung im Salz bedingen Volumenänderungen. Diese beeinflussen die hydraulischen Eigenschaften. Im Kristallin fehlen entsprechende Minerale.					
B) Umlösung und Mineralumwandlungen führen zu Volumenveränderungen in ALZ und Wirtsgestein und beeinflussen Eigenschaften.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.2 Prozesse und Ereignisse					
3.2.19	E/P	Thermische Expansion oder Kontraktion (Grubenbau)	Das FEP beschreibt Volumenzunahme bzw. -abnahme von Fluiden und Feststoffen durch Veränderung der Temperatur. Konzept: alle	Funktionalität von Ausbau und Verschlussbau- werken.	Ja
Erläuterungen					
Durch thermomechanische Spannungen können sich in Auflockerungszonen und Verschlussbauwerken Risse bilden, wodurch hydraulische Funktionen eingeschränkt wären. Im Ausbau können Teilbereiche ausbrechen, wodurch lokale Funktionseinschränkungen eintreten.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.2 Prozesse und Ereignisse					
3.2.20	E/P	Überwachung (Grubenbau)	Kontrollaktivitäten, um den bestimmungsgemäßen Betrieb bzw. die erwarteten Standortbedingungen zu Beginn der Nachverschlussphase zu gewährleisten. Konzept: alle	Keine	Keine
Erläuterungen					
Das Monitoring für Langzeitentwicklungen ist gegenwärtig kein Bestandteil der Endlagerkonzepte und wird daher nicht berücksichtigt. Die technischen Maßnahmen der Betriebsüberwachung sind Bestandteil der technischen Einrichtungen.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.2 Prozesse und Ereignisse					
3.2.21	E/P	Reparatur und Wartung (Grubenbau)	Arbeiten an Einbauten, am Ausbau und an der Versorgungs- und Transporttechnik in den Grubenbauen. Konzept: alle	Beim bestimmungsgemäßen Betrieb wird der Betriebsablauf durch Reparatur und Wartung nicht gestört.	Keine
Erläuterungen					
Technische und menschliche Fehler im Zusammenhang mit Reparaturarbeiten werden nicht im Detail behandelt, da es für die hier behandelten generischen Endlagerkonzepte keine Planungen für Reparatur und Wartung gibt. Unterbrechungen im Betriebsablauf möglich, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
3.3.1	E/P	Versagen des Ausbaus Infrastrukturbereiche	Das FEP beschreibt das Ausbrechen des Ausbaus in den Infrastrukturbereichen aufgrund von menschlichen und technischen Fehlern, übermäßigen Lasten und Erschütterungen. Konzept: alle	A) Firstspalte oberhalb des Versatzes B) Unterbrechung im Betriebsablauf C) Versagen des Ausbaus D) Funktionsfähigkeit der Verschlussbauwerke	A) Ton: Ja Salz; Kristallin: keine B) Ja C) Ja D) keine
Erläuterungen A) Einerseits wird das Verschließen der Firstspalte oberhalb des Versatzes in Tongestein durch Konvergenz beschleunigt; andererseits können durch den gebrochenen Ausbau Wegsamkeiten entstehen, siehe FEP 3.1.9 <i>Versatz (Grubenbau)</i> . Im Salz nur lokal Ausbau, im Kristallin zu geringe Konvergenzraten zum Verschließen eines Firstspalts. B) Versagen des Ausbaus kann zu Unterbrechungen im Betriebsablauf führen, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i> . C) Versagen des Ausbaus und resultierende Lösefälle können zur Beschädigung der Transporttechnik und Endlagergebäude führen. D) Ausbau wird an den Einbauorten der Verschlussbauwerke entfernt.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
3.3.2	E/P	Versagen des Streckenausbaus	Das FEP beschreibt das Ausbrechen des Ausbaus in den Richtstrecken aufgrund von menschlichen und technischen Fehlern, übermäßigen Lasten und Erschütterungen. Konzept: alle	A) Firstspalte oberhalb des Versatzes B) Unterbrechung im Betriebsablauf C) Versagen des Ausbaus D) Funktionsfähigkeit der Verschlussbauwerke	A) Ton: Ja Salz; Kristallin: Keine B) Ja C) Ja D) keine
Erläuterungen					
<p>A) Einerseits wird das Verschließen der Firstspalte oberhalb des Versatzes in Tongestein durch Konvergenz beschleunigt; andererseits können durch gebrochenen Ausbau Wegsamkeiten entstehen. Im Salz nur lokal Ausbau, im Kristallin zu geringe Konvergenzraten zum Verschließen eines Firstspalts.</p> <p>B) Versagen des Ausbaus kann zu Unterbrechungen im Betriebsablauf führen, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i>.</p> <p>C) Versagen des Ausbaus und resultierende Löserfälle können zur Beschädigung der Transporttechnik und Endlagergebäude führen.</p> <p>D) Ausbau wird an den Einbauorten der Verschlussbauwerke entfernt.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
3.3.3	E/P	Versagen des Versatzes (Grubenbau)	Das FEP beschreibt Versatzkörper, die nicht anforderungsgerecht eingebaut und dessen Funktionen beeinträchtigt sind. Konzept: alle	A) Konturstabilisierung in abgeworfenen Gru- benbereichen nicht ausreichend B) größere Firstspalte durch Setzungen und Einbaufehler	A) Ja B) Ja
Erläuterungen					
A) Bei unzureichender Stabilisierung können sich Schädigungen im Ausbau und Gesteinsauflockerungen ausweiten, siehe FEP 3.1.9 <i>Versatz (Grubenbau)</i> .					
B) Der Versatz verliert temporär seine Funktionen als Flammensperre bei Bildung von explosiven Gasmischungen in abgeworfenen Grubenbereichen und als Strömungswiderstand für Lösungsbewegungen, siehe FEP 3.1.9 <i>Versatz (Grubenbau)</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
3.3.4	E/P	Versagen technischer Einrichtungen (Grubenbau)	Beschädigung und Funktionsausfall von technischen Einrichtungen durch Alteration oder Korrosion oder unerwartet hohe mechanische Lasten (Erdbeben), wie z. B. der Ausfall der Bewetterung oder der Stromversorgung. Konzept: alle	A) Unterbrechung im Betriebsablauf. B) Ausfall der Bewetterung bei Transport von Gebinden. C) Bildung explosionsfähiger Gasgemische. D) Stromausfall von sicherheitstechnisch relevanten Anlagen	A) Ja B) Ja C) Ja D) Keine
Erläuterungen					
<p>A) Defekte technische Einrichtungen werden instand gesetzt, so dass keine direkten Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit zu erwarten sind. Es kommt zu Unterbrechungen im Betriebsablauf, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i>.</p> <p>B) Gebinde werden temporär nicht ausreichend gekühlt. Es kann ein vergleichsweise hoher Wärmeeintrag in Ausbau und Gebirge erfolgen, dessen Folgen überprüft werden. Es kommt generell zur Unterbrechung im Betriebsablauf, siehe A).</p> <p>C) Feuer und Explosionen beeinflussen die Eigenschaften von Wirtsgestein und technischen Barrieren, siehe FEP 3.3.14 <i>Feuer (Grubenbau)</i> und 3.3.15 <i>Explosion (Grubenbau)</i>.</p> <p>D) Bei Unterbrechung der Stromversorgung erfolgt der Übergang in einen sicheren Ruhezustand (fail-safe-Modus). Kurze Betriebsunterbrechungen wirken sich nicht auf die Nachverschlussphase aus, siehe A).</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
3.3.5	E/P	Versagen des Verschlusses im Bereich von Störungszonen	Das FEP beschreibt einen Verschluss im Bereich einer Störungszone, der mechanische und/oder hydraulische Anforderungen nicht erfüllt. Konzept: Ton (alle), Kristallin (alle)	A) unzureichende Abdichtung der Störungszone B) unzureichende Stützung des Wirtsgesteins	A) Ja B) Ja
Erläuterungen					
A) Es können stärkere Lösungsbewegungen zu und aus der Störungszone erfolgen und den Schadstofftransport beschleunigen. B) Es kann eine Ausweitung der Störungszone erfolgen, wodurch sich der hydraulische Widerstand des Verschlusses verringert.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
3.3.6	E/P	Versagen des Streckenverschlusses	Das FEP beschreibt einen Streckenverschluss, der mechanische und/oder hydraulische Anforderungen nicht erfüllt. Konzept: Ton (alle), Salz (alle), Kristallin (MeWG)	A) unzureichende Abdichtung eines Grubenbereiches B) unzureichende Stützung des Wirtsgesteins	A) Ja B) Ja
Erläuterungen					
A) Es können stärkere Lösungsbewegungen zu und aus einem Einlagerungsbereich erfolgen und den Schadstofftransport beschleunigen.					
B) Es kann eine Ausweitung der Auflockerungszone erfolgen, wodurch sich der hydraulische Widerstand des Verschlusses verringert.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
3.3.7	E/P	Versagen des Verschlusses einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Grubenbau)	Das FEP beschreibt Verfüllungen und Verschlüsse, die mechanische und hydraulische Anforderungen nicht erfüllen. Konzept: alle	Bildung von hydraulischen Wegsamkeiten	Ja
Erläuterungen					
Eine neue hydraulische Wegsamkeit kann Lösungs- und Gaszutritte auslösen sowie Fluidbewegungen in der Nachverschlussphase ungünstig beeinflussen, siehe FEP 3.2.13.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
3.3.8	E/P	Versagen des Endlagergebändes oder Transferbehälters (Grubenbau)	Der Endlagerbehälter erfüllt seine Einschchlussfunktion für die Radionuklide oder der Transferbehälter erfüllt seine Schutzfunktion für das Endlagergebäude nicht. Dies kann eine Folge von unerkannten Defekten am Behälter und/oder eines Unfalls (z. B. Transport, Lösefall, Explosion) sein. Konzept: alle	A) Versagen des Transferbehälters B) Versagen des Endlagerbehälters und Radionuklidfreisetzung	A) keine B) Ja
Erläuterungen					
A) nur relevant, wenn auch der Endlagerbehälter versagt, siehe B). Es kommt zu Verzögerungen im Betriebsablauf, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i> .					
B) relevant, wenn sich der Behälter nicht in einem Transferbehälter befindet. Es kann zu länger andauernden Verzögerungen im Betriebsablauf kommen, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i> . Kontaminationen im Wirtsgestein können die Standortbedingungen zu Beginn der Nachbetriebsphase verändern.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
3.3.9	E/P	Versagen von Bergbaumaschinen (Grubenbau)	Während des Betriebes können Beschädigungen durch Löserfall, technische und menschliche Fehler und Korrosion auch Defekte und Fehlfunktionen der Bergbaumaschinen verursachen. Konzept: alle	A) Funktionseinschränkungen von Einbauten, technischen Einrichtungen und Ausbau B) Streckenverschlüsse C) Freisetzung chemotoxischer und brennbarer Stoffe	A) keine B) keine C) Ja
Erläuterungen					
A) Bei der Reparatur kommt es zu kurzen Unterbrechungen im Betriebsablauf, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i> .					
B) Verschlüssen können verändert oder verlegt werden – ohne Funktionseinschränkung.					
C) Feuer beeinflusst die Eigenschaften von Wirtsgestein und von technischen Barrieren, siehe FEP 3.3.14 <i>Feuer (Grubenbau)</i> . Kontaminationen im Wirtsgestein können die Standortbedingungen zu Beginn der Nachbetriebsphase verändern.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
3.3.10	E/P	Versagen von Transportfahrzeugen (Grubenbau)	Während des Betriebes können Beschädigungen durch Löserfall, technische und menschliche Fehler und Korrosion auch Defekte und Fehlfunktionen der Transportfahrzeuge verursachen. Konzept: alle	A) Unfälle B) Freisetzung chemotoxischer und brennbarer Stoffe C) Absturz eines Endlagergebindes mit unerkannten Defekten und Radionuklidfreisetzung	A) Keine B) Ja C) Ja
Erläuterungen					
<p>A) Durch Unfälle kann die Funktion von Einbauten und technischen Einrichtungen eingeschränkt werden. Außerdem können Transferbehälter, Ausbau und Konturbereiche beschädigt werden. Die Beschädigungen werden während der Betriebsphase beseitigt. Bei der Reparatur kommt es zu kurzen Unterbrechungen im Betriebsablauf, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i>.</p> <p>B) Feuer beeinflusst die Eigenschaften von Wirtsgestein und technischen Barrieren, siehe FEP 3.3.14 <i>Feuer (Grubenbau)</i>. Kontaminationen im Wirtsgestein können die Standortbedingungen zu Beginn der Nachbetriebsphase verändern.</p> <p>C) Die Freisetzung radioaktiver Stoffe kann den Einlagerungsbetrieb lang andauernd verzögern und die Standortbedingungen zu Beginn der Nachbetriebsphase verändern.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
3.3.11	E/P	Versagen von Einlagerungs- maschinen (Grubenbau)	Einlagerungsmaschinen sind in den Gru- benbauen außerhalb der Einlagerungsbereiche nur Transportgut und können beschädigt werden. Konzept: alle	keine	keine
Erläuterungen					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
3.3.12	E/P	Abschalungen und Löser (Grubenbau)	Spannungsumlagerungen im Wirtsgestein erweitern aufgelockerte und entfestigte Gesteinsbereiche. Diese können Risse bzw. Klüfte bilden, die zum Aufblättern oder Ausbrechen von Gestein an der Kontur führen. Konzept: alle	In nicht ausgebauten Konturbereichen oder beim Versagen des Ausbaus können Abschalungen und Löser A) Auflockerungszonen beeinflussen, B) Funken bilden, C) zur Unterbrechung im Betriebsablauf führen, D) ein Endlagergebäude beschädigen, E) technische Einrichtungen beschädigen.	A) Ja B) Ja C) Ja D) Ja E) Ja
<p>Erläuterungen</p> <p>In Tongestein und im Kristallin werden die Grubenbaue ausgebaut und Löserfälle können nur beim Versagen des Ausbaus stattfinden.</p> <p>A) Abschalungen, Löser und die Ausweitung der ALZ können den einschlusswirksamen Gebirgsbereich schädigen und die Funktion von Verschlussbauwerken einschränken.</p> <p>B) Funkenbildung kann ein Feuer verursachen und die Eigenschaften von Wirtsgestein und technischen Barrieren beeinträchtigen, siehe FEP 3.3.14 <i>Feuer (Grubenbau)</i>.</p> <p>C) siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i></p> <p>D) kann zur Freisetzung von Radionukliden und chemotoxischen Stoffen führen und die Standortbedingungen zu Beginn der Nachbetriebsphase verändern.</p> <p>E) siehe FEP 3.3.4. <i>Versagen technischer Einrichtungen (Grubenbau)</i></p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
3.3.13	E/P	Flutung der Grubenbaue (Grubenbau)	Das FEP beschreibt einen starken Lösungszutritt durch Hochwasser (FEP 0.3.3), aus dem Deckgebirge (FEP 2.3.11) oder aus dem Wirtsgestein (FEP 3.1.6), der technisch nicht beherrscht werden kann. Konzept: alle	A) Unfällen beim Transport der Gebinde. B) dauerhafte Betriebsunterbrechung C) Umlösungen im Salz	A) Ja B) Ja C) Salz: Ja; Ton, Kristallin: Nein
Erläuterungen					
A) Unfällen und Überflutung können zur Freisetzung von Radionukliden und chemotoxischen Stoffen führen und Kontaminationen verursachen.					
B) Einlagerungs- und Verschlussmaßnahmen können erst verspätet oder gar nicht durchgeführt werden. Die Unterbrechung des Betriebes führt zu veränderten Standortbedingungen zu Beginn der Nachverschlussphase, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i> .					
C) Umlösung von Salzmineralen im Wirtsgestein kann die geologische Barriere zusätzlich beeinträchtigen.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
3.3.14	E/P	Feuer (Grubenbau)	Flammenbildung bei der Verbrennung. Ein Feuer kann in allen Bereichen des Grubengebäudes mit Brandlasten und Zündereignissen auftreten, z. B. Wärme und Funken. Voraussetzungen für ein Feuer sind Brennstoff, Luft und Zündung. Konzept: alle	A) Funktionseinschränkung von Verfüll- und Verschlussmaßnahmen. B) Schädigung von Gebirgsbereichen. C) Beschädigung von Endlagergebinden. D) lange Betriebsunterbrechung.	A) Ja B) Ja C) Ja D) Ja
Erläuterungen					
A) Die Errichtung von Verschlussbauwerken kann erschwert sein, Funktionen der Verschlüsse beeinflussen die Systementwicklung.					
B) Gesteinsveränderungen und -entfestigungen beeinflussen die Einschusswirksamkeit des Wirtsgesteins, vgl. FEP 3.1.4 <i>Wirtsgestein (Grubenbau)</i> .					
C) Defekte können zur Freisetzung von Radionukliden bzw. chemotoxischen Stoffen führen und Kontaminationen des Gebirges verursachen, siehe FEP 3.3.17 und FEP 3.3.18. Kontaminationen können langfristig in die Biosphäre gelangen.					
D) Eine lange Unterbrechung kann zu veränderten Standortbedingungen zu Beginn der Nachverschlussphase führen, siehe FEP 0.1.1 Unterbrechungen im Betriebsablauf.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
3.3.15	E/P	Explosion (Grubenbau)	Durch Explosionen werden Temperatur-, Druck- und Bewegungsenergie freigesetzt, z. B. Sprengen und <u>explosive Gasgemische</u> . Es werden große Gas- und Wärmemengen freigesetzt und starke Druckwellen gebildet, die das Volumen der Gase plötzlich ausdehnen. Konzept: alle	A) Funktionseinschränkungen von Verfüll- und Verschlussmaßnahmen. B) Schädigung von Gebirgsbereichen. C) Beschädigung von Endlagergebinden. D) lange Betriebsunterbrechung	A) Ja B) Ja C) Ja D) Ja
Erläuterungen					
A) Die Errichtung von Verschlussbauwerken kann erschwert sein.					
B) Gesteinsveränderungen und -entfestigungen beeinflussen die Einschusswirksamkeit des Wirtsgesteins, vgl. FEP 3.1.4 <i>Wirtsgestein (Grubenbau)</i> .					
C) Defekte können zur Freisetzung von Radionukliden bzw. chemotoxischen Stoffen führen und Kontaminationen des Gebirges verursachen, siehe FEP 3.3.17 und FEP 3.3.18. Kontaminationen können langfristig in die Biosphäre gelangen.					
D) Eine lange Unterbrechung kann zu veränderten Standortbedingungen zu Beginn der Nachverschlussphase führen, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
3.3.16	E/P	Bläser (Grubenbau)	Gasexhalationen mit hohem Druck und hohen Volumenströmen. Konzept: Ton (alle), Salz (alle)	A) Funktionseinschränkungen von Verfüll- und Verschlussmaßnahmen. B) Schädigung von Gebirgsbereichen. C) Beschädigung von Endlagergebinden. D) Brandlasten und explosive Gasgemische. E) Änderung des Fluiddrucks.	A) Ja B) Ja C) Ja D) Ja E) Nein
Erläuterungen					
A) Die Errichtung von Verschlussbauwerken kann erschwert sein.					
B) Gesteinsveränderungen und -entfestigungen beeinflussen die Einschlusswirksamkeit des Wirtsgesteins, vgl. FEP 3.1.4 <i>Wirtsgestein (Grubenbau)</i> . Neue Wegsamkeiten sind möglich.					
C) Defekte können zur Freisetzung von Radionukliden bzw. chemotoxischen Stoffen führen und Kontaminationen des Gebirges verursachen, siehe FEP 3.3.17 (<i>Grubenbau</i>) und FEP 3.3.18 (<i>Grubenbau</i>). Kontaminationen können langfristig in die Biosphäre gelangen.					
D) Brandlasten können Feuer und Explosionen verursachen, siehe FEP 3.3.14 <i>Feuer (Grubenbau)</i> und FEP 3.3.15 <i>Explosion (Grubenbau)</i>					
E) kurzzeitige Erhöhung mit Änderung des Wirtsgestein, siehe A) und B)					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
3.3.17	E/P	Freisetzung radioaktiver Stoffe (Grubenbau)	Ausbreitung von radioaktiven Stoffen durch Defekte und Beschädigungen von Behältern. Beim Transport von radioaktiven Stoffen können diese bei unerkannten Defekten o- der Unfällen von Transportfahrzeugen freigesetzt werden. Konzept: alle	A) Kontaminationen des Gebirges B) längerfristige Betriebsunterbrechung.	A) Ja B) Ja
Erläuterungen					
A) Die Kontaminationen können langfristig in die Biosphäre gelangen.					
B) Eine lange Unterbrechung kann zu veränderten Standortbedingungen zu Beginn der Nachverschlussphase führen, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
3 FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche					
3.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
3.3.18	E/P	Freisetzung chemotoxischer Stoffe (Grubenbau)	Ausbreitung von chemotoxischen Stoffen durch Defekte und Beschädigungen von Behältern oder Versorgungsleitungen. Konzept: alle	A) Kontaminationen des Gebirges B) längerfristige Betriebsunterbrechung.	A) Ja B) Ja
Erläuterungen					
A) Die Kontaminationen können langfristig in die Biosphäre gelangen.					
B) Eine lange Unterbrechung kann zu veränderten Standortbedingungen zu Beginn der Nachverschlussphase führen, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i> .					

A.4 Teilsystem Einlagerungsbereiche

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.1 Komponenten					
4.1.1	Z	Ausbau Querschlag	<p>Aus Gründen der Arbeits- und Betriebssicherheit müssen Querschläge in den Einlagerungsbereichen im Ton und Kristallin während der Betriebsphase durch Streckenausbau stabilisiert werden. Der Ausbau kann als offener Ausbau durch Anker und Stahlnetze oder als geschlossener Ausbau durch Beton ausgeführt werden.</p> <p>Konzept: Ton (alle), Kristallin (ÜewG)</p>	<p>A) Einfluss auf Konvergenz, B) Einfluss auf Auflockerungszone C) Gasbildung durch Metallkorrosion D) Einfluss auf geochemisches Milieu E) potenzielle Wegsamkeit</p>	<p>A) Ton: Ja Kristallin: Keine B) Ja C) Ja D) Ja E) Ja</p>
<p>Erläuterungen</p> <p>A) Im Ton nach Auflaufen des Gebirges auf den Ausbau keine Konvergenz, setzt nach Versagen des Ausbaus ein. Im Kristallin Konvergenz sehr gering.</p> <p>B) verhindert weitere Auflockerung, fördert das Schließen der Auflockerungszone im Ton.</p> <p>C) Metalle wie Anker können korrodieren und Wasserstoff bilden.</p> <p>D) Betonausbau wird zumeist nicht entfernt, durch Zementkorrosion werden Lösungszusammensetzung und Feststoffe verändert.</p> <p>E) Potenzielle durchgehende Wegsamkeit im Ausbau parallel zur Kontur.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.1 Komponenten					
4.1.2	Z	Ausbau der Einlagerungsstrecken und -kammern	<p>Aus Gründen der Arbeits- und Betriebssicherheit müssen die Einlagerungsstrecken und -kammern im Ton und Kristallin während der Betriebsphase durch einen Streckenausbau stabilisiert werden. Der Ausbau kann als offener Ausbau durch Anker und Stahlnetze oder als geschlossener Ausbau durch Beton ausgeführt werden.</p> <p>Konzept: Ton (SL), Kristallin (MewG, ÜewG)</p>	<p>A) Einfluss auf Auflockerungszone B) Einfluss auf Konvergenz C) Gasbildung durch Metallkorrosion D) Einfluss auf geochemisches Milieu E) potenzielle Wegsamkeit</p>	<p>A) Ja B) Ton: Ja Kristallin: Keine C) Ja D) Ja E) Ja</p>
Erläuterungen					
<p>A) verhindert weitere Auflockerung, fördert das Schließen der Auflockerungszone im Ton. B) Im Ton nach Auflaufen des Gebirges auf den Ausbau keine Konvergenz, setzt nach Versagen des Ausbaus ein. Im Kristallin Konvergenz sehr gering. C) Metalle wie Anker können korrodieren und Wasserstoff bilden. D) Betonausbau wird zumeist nicht entfernt, durch Zementkorrosion werden Lösungszusammensetzung und Feststoffe verändert. E) potenzielle durchgehende Wegsamkeit im Ausbau parallel zur Kontur.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.1 Komponenten					
4.1.3	Z	Ausbau der Bohrlochüberfahrungsstrecke	<p>Aus Gründen der Arbeits- und Betriebssicherheit müssen die Bohrlochüberfahrungsstrecken während der Betriebsphase durch Streckenausbau stabilisiert werden.</p> <p>Der Ausbau kann als offener Ausbau durch Anker und Stahlnetze oder als geschlossener Ausbau durch Beton ausgeführt werden. Im Salz erfolgt nur eine Firstankerung aufgrund der Streckengeometrie.</p> <p>Konzept: Ton (BL), Salz (VBL), Kristallin (KBS-3, MewG)</p>	<p>A) Einfluss auf Auflockerungszone B) Einfluss auf Konvergenz C) Gasbildung durch Metallkorrosion D) Einfluss auf geochemisches Milieu E) potenzielle Wegsamkeit</p>	<p>A) Ja B) Salz, Kristallin: keine Ton: Ja C) Ja D) Ja E) Salz: Keine Ton, Kristallin: Ja</p>
<p>Erläuterungen</p> <p>A) verhindert weitere Auflockerung, fördert das Schließen der Auflockerungszone im Salz und Ton.</p> <p>B) Im Ton nach Auflaufen des Gebirges auf den Ausbau keine Konvergenz, setzt nach Versagen des Ausbaus ein. Im Kristallin Konvergenz sehr gering, im Salz insignifikant.</p> <p>C) Metalle wie Anker können korrodieren und Wasserstoff bilden.</p> <p>D) Betonausbau wird zumeist nicht entfernt, durch Zementkorrosion werden Lösungszusammensetzung und Feststoffe verändert, Im Salz wegen geringer Mengen vernachlässigbar.</p> <p>E) potenzielle durchgehende Wegsamkeit im Ausbau parallel zur Kontur. Im Salz lokal begrenzt und im Vergleich zur ALZ vernachlässigbar.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.1 Komponenten					
4.1.4	Z	Ausbau der Strecken in Salz (Einlagerungsbereich)	<p>Aus Gründen der Arbeits- und Betriebssicherheit müssen die Bohrlochbeschickungsstrecken für die horizontale Bohrlochlagerung und die direkte Endlagerung von Transport und Lagerbehältern im Salz während der Betriebsphase durch einen offenen Ausbau (Anker/Stahlnetze) gesichert werden.</p> <p>Konzept: Salz (SL, HBL, TLB)</p>	<p>A) Einfluss auf Auflockerungszone B) Gasbildung durch Metallkorrosion C) Beeinflussung des geochemischen Milieus</p>	<p>A) Ja B) Keine C) Keine</p>
Erläuterungen					
<p>A) stabilisiert das Gebirge, fördert das Schließen der Auflockerungszone. B) Metalle wie Anker korrodieren, aufgrund der geringen Metallmengen nicht relevant. C) durch Metallkorrosion werden Lösungszusammensetzung und Feststoffe verändert, aufgrund der geringen Metallmengen nicht relevant.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.1 Komponenten					
4.1.5	Z	Ausbausystem vertikales Bohrloch	<p>Das Ausbausystem beschreibt die Komponenten im Bohrloch unterhalb des Bohrlochverschlusses bzw. der Bohrlochüberfahrungsstrecke. Sie umfassen bei BL die Innenliner, Sandverfüllung, Außenliner und Bentonit-Buffer, bei VBL die Stahl liner und Sandverfüllung, bei KBS-3 die Widerlager und Bentonit-Buffer sowie bei MewG die Stahl liner und Sandverfüllung.</p> <p>Konzept: Ton (BL), Salz (VBL), Kristallin (KBS-3, MewG)</p>	<p>A) Einfluss auf Auflockerungszone B) Einfluss auf Konvergenz C) Gasbildung durch Metallkorrosion D) Einfluss auf geochemisches Milieu E) potenzielle Wegsamkeit F) Bentonit als Buffer und Abdichtung</p>	<p>A) Ja B) Kristallin: Keine Salz, Ton: Ja C) Ja D) Ja E) Ja F) Salz: Keine Ton, Kristallin: Ja</p>
<p>Erläuterungen</p> <p>A) verhindert weitere Auflockerung, fördert das Schließen der Auflockerungszone im Salz und Ton. B) Im Salz und Ton nach Auflaufen des Gebirges auf den Liner keine Konvergenz. Im Kristallin Konvergenz sehr gering. C) Stahl liner können korrodieren und Wasserstoff bilden. D) Stahl liner können korrodieren. Durch Metallkorrosion und Bentonit werden Lösungszusammensetzung und Feststoffe verändert. E) potenzielle durchgehende Wegsamkeit. F) verzögert Lösungszutritte zu den Behältern, siehe auch FEP 4.1.15 <i>Buffer in Einlagerungsstrecken</i>.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.1 Komponenten					
4.1.6	Z	Ausbausystem horizontales Bohrloch	Aufgrund der Rückholbarkeit der Endlagerbehälter müssen die Einlagerungsbohrlöcher ausgebaut werden. Es sind Stahl liner mit integrierten Panzerrollen vorgesehen, jedoch keine Verfüllung der Hohlräume. Konzept: Salz (HBL)	A) Einfluss auf Auflockerungszone B) Einfluss auf Konvergenz C) Gasbildung durch Metallkorrosion D) Einfluss auf geochemisches Milieu E) potenzielle Wegsamkeit	A) Ja B) Ja C) Ja D) Ja E) Ja
Erläuterungen					
A) verhindert weitere Auflockerung, fördert das Schließen der Auflockerungszone. B) Stahl liner reduziert Konvergenz, nach Auflaufen des Gebirges auf den Liner keine Konvergenz. C) Stahl liner können korrodieren und Wasserstoff bilden. D) Stahl liner können korrodieren. Durch Metallkorrosion werden Lösungszusammensetzung und Feststoffe verändert. E) Der offene Hohlraum in der Bohrung ist eine zusätzliche Wegsamkeit.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.1 Komponenten					
4.1.7	Z	Bohrloch- einbauten und Schlitten	Für die Einlagerung der schweren TLB in horizontale Kurzbohrlöcher sind Einbauten und ein Schlitten vorgesehen. Einbauten und Schlitten verbleiben im Bohrloch. Konzept: Salz (TLB)	A) Gasbildung durch Metallkorrosion B) Einfluss auf geochemisches Milieu	A) Ja B) Ja
Erläuterungen					
A) Metalle können korrodieren und Wasserstoff bilden.					
B) Metalle können korrodieren. Durch Metallkorrosion werden Lösungszusammensetzung und Feststoffe verändert.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.1 Komponenten					
4.1.8	Z	Technische Einrichtungen (Einlagerungsbereich)	Das FEP umfasst alle technischen Komponenten, die beim Bau, Betrieb (mit Überwachung) und Verschluss in die Einlagerungsbereiche eingebracht werden, wie z. B. Lutten, Kabel, Leitungen. Liner und andere Ausbaukomponenten werden in den entsprechenden FEP behandelt. Konzept: alle	Keine	Keine
<p>Erläuterungen</p> <p>Die Einbauten werden vor dem Verschluss geraubt. Die Schienen werden für die Rückholbarkeit entfernt (Sohlenhebung, Behinderung der Streckenauffahrung). Verbleibende technische Einrichtungen mit signifikanten Metallmengen sind Einbauten und Schlitten im Bohrloch bei der Einlagerung von TLB, siehe oben (FEP 4.1.7).</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.1 Komponenten					
4.1.9	Z	Wirtsgestein (Einlagerungsbereich)	Das FEP beschreibt die mechanischen, thermischen, hydraulischen und chemisch-mineralogischen Eigenschaften der intakten Gesteinsformation im Umfeld des Einlagerungsbereiches. Konzept: alle	Zustand und Eigenschaften des Wirtsgesteins um den Einlagerungsbereich sind wesentlich für die Einschlusswirksamkeit des Wirtsgesteins.	Ja
Erläuterungen					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.1 Komponenten					
4.1.10	Z	Auflockerungszone (Einlagerungsbereich)	Auflockerungszonen (ALZ) umfassen gebirgsmechanisch beanspruchte Gesteinsbereiche in der Kontur von Grubenbauen. Die ALZ sind durch geringere mechanische Festigkeit und höhere hydraulische Leitfähigkeit gekennzeichnet. Konzept: alle	Auflockerungszonen stellen Wegsamkeiten dar.	Ja
Erläuterungen					
Die Auflockerungszone bestimmt den integralen Strömungswiderstand der Verschlussbauwerke. Die Auflockerungszone wird beim Einbau der Verschlussbauwerke reduziert.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.1 Komponenten					
4.1.11	Z	Lösungen (Einlagerungsbereich)	Das FEP umfasst wässrige Lösungen aus den Bau- und Betriebsstoffen, Kondenswasser aus den Wettern und Lösungszutritte über Schacht und Rampe aus dem Gebirge. Geringe Lösungsmengen werden toleriert, wenn der bestimmungsgemäße Betrieb nicht beeinträchtigt wird. Lösungen werden gefasst und beseitigt, es verbleiben ggf. Lösungen hinter geschlossenem Ausbau. Konzept: alle	A) verfügbare Lösungsmengen zu Beginn der Nachverschlussphase. B) Alteration und Korrosion von Gesteinen und Versatzstoffen. C) Fluiddruck wirkt auf alle Komponenten ein. D) Quellung von Dichtelementen, Buffer und Versatz.	A) Ja B) Ja C) Ja D) Ton, Kristallin: Ja Salz: Keine
Erläuterungen					
<p>A) Lösungen bilden ein Transportmedium für Radionuklide bzw. chemotoxische Stoffe.</p> <p>B) Lösungszusammensetzungen beeinflussen Alterations- und Korrosion von Verschlüssen, Ausbau und Auflockerungszonen, siehe z. B. FEP 4.2.7 <i>Metallkorrosion (Einlagerungsbereich)</i>, FEP 4.2.8 <i>Zementkorrosion (Einlagerungsbereich)</i>, FEP 4.2.21 <i>Alteration der Auflockerungszone (Einlagerungsbereich)</i>.</p> <p>C) Fluiddruck wird bei der Auslegung der technischen Barrieren berücksichtigt.</p> <p>D) Im Ton- und Kristallin bestimmen Lösungsmenge und -zusammensetzung das Quellen von Bentonit in Dichtelementen.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.1 Komponenten					
4.1.12	Z	Flüssige Kohlenwasserstoffe (Einlagerungsbereich)	Das FEP umfasst Betriebsstoffe (Treib- und Schmierstoffe) sowie flüssige Kohlenwasserstoffe aus dem Wirtsgestein. Geringe Mengen werden toleriert, wenn der bestimmungsgemäße Betrieb nicht beeinträchtigt wird. KWS werden weitgehend gefasst und beseitigt, es verbleiben ggf. KWS hinter geschlossenem Ausbau. Gasförmige Kohlenwasserstoffe werden im FEP 4.1.13 <i>Gase (Einlagerungsbereich)</i> beschrieben. Konzept: Ton (alle), Salz (alle)	Flüssige Kohlenwasserstoffe beeinflussen A) das geochemische Milieu, B) das Nährstoffangebot für Mikroben, C) hydraulische Eigenschaften technischer Barrieren, D) Brandlasten.	A) Ja B) Ja C) Ja D) Ja
Erläuterungen					
A) flüssige KWS beeinflussen pH, eh, Lösungszusammensetzung, Komplexbildung etc. B) Das Nährstoffangebot bestimmt die mikrobielle Aktivität. C) Öle und Fette können wässrige Phasen im Porenraum verdrängen, Kohlenwasserstoffe mit hoher Viskosität den Porenraum verstopfen und hydraulische Eigenschaften von Auflockerungszonen, Versatzstoffen und Verschlussbauwerken beeinflussen. D) Flüssige Kohlenwasserstoffe können bei einer Zündung zu Bränden führen, vgl. FEP 4.3.18 <i>Feuer (Einlagerungsbereich)</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.1 Komponenten					
4.1.13	Z	Gase (Einlagerungsbereich)	Gruben- und Frischwetter, Gase der Metallkorrosion und der Zersetzung von Organika sowie KWS. Konzept: alle	A) Transportmedium B) Brandlast C) Fluiddruck	A) Ja B) Ja C) Ja
Erläuterungen					
<p>A) Gase bilden ein Transportmedium für Radionuklide bzw. chemotoxische Stoffe.</p> <p>B) In bereits abgeworfenen Bereichen des Grubengebäudes gebildete Gase beeinflussen die Gasmenge zu Beginn der Nachverschlussphase. Diese Gase können bei einer Zündung Brände und Gasexplosionen auslösen, siehe FEP 4.3.18 <i>Feuer (Einlagerungsbereich)</i> und FEP 4.3.19 <i>Explosion (Einlagerungsbereich)</i>.</p> <p>C) Gase beeinflussen den Fluiddruck, der als hydraulische Last bei der Auslegung der Verschlüsse berücksichtigt wird.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.1 Komponenten					
4.1.14	Z	Versatz (Einlagerungsbereich)	Der FEP umfasst Zustand und Eigenschaften der in Grubenräume eingebrachten Versatzmaterialien sowie deren Verhalten gegenüber chemischen, thermischen, hydraulischen und mechanischen Einwirkungen. Durch die Setzung des Versatzes kann in der frühen Nachverschlussphase ein Firstspalt entstehen. Konzept: alle	A) Abdichtwirkung für Grubenbereiche B) Stützwirkung für Wirtsgestein C) Lösungsmenge D) Wegsamkeit für Fluide. E) Einfluss auf das geochemische Milieu F) Bergbarkeit der Endlagergebinde.	A) Ja B) Ja C) Salz, Kristallin: Ja Ton: Keine D) Ja E) Ja F) Ja
Erläuterungen					
<p>A) Die Eigenschaften des eingebrachten Versatzkörpers entscheiden über sein Langzeitverhalten und den langzeitigen Zufluss von Lösungen in den Einlagerungsbereich.</p> <p>B) Stützwirkung erhält Integrität des Wirtsgesteins, geringe bzw. fehlende Konturstabilisierung durch Firstspalten kann zur Vergrößerung der Auflockerungszonen führen - in Ton nur bei gleichzeitigem Versagen des Ausbaus.</p> <p>C) Im Ton sind die bereits vorhandenen Lösungsmengen aus dem Wirtsgestein dominierend. Im Salz und Kristallin werden vergleichsweise große Lösungsmengen mit den Versatzmaterialien eingebracht.</p> <p>D) Der Versatz bildet potenzielle Wegsamkeiten für Fluide - im Ton auch die Firstspalten.</p> <p>E) Im Ton und Salz werden arteigene oder kompatible Versatzstoffe, wie Tone bzw. Salzgrus, eingebaut, so dass das geochemische Milieu nur geringfügig beeinflusst wird. Im Kristallin beeinflussen die artfremden Versatzstoffe, wie Tone, das Milieu.</p> <p>F) Die Versatzstoffe, insbesondere Sandverfüllungen, gewährleistet die regulatorisch geforderte Bergbarkeit der Endlagergebinde bis 500 Jahre nach Verschluss des Endlagers.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.1 Komponenten					
4.1.15	Z	Buffer in Einlagerungsstrecken	Das FEP beschreibt die Funktion, das Design und die Eigenschaften der in die Einlagerungsstrecken eingebrachten Buffermaterialien (Bentonite) sowie deren Verhalten bei Einwirkungen des Wirtsgesteins. Konzept: Ton (alle), Kristallin (ÜewG)	A) Stützwirkung für Einlagerungsstrecke B) Beeinflussung hydraulischer Eigenschaften C) Beeinflussung des geochemischen Milieus D) hohes Sorptionsvermögen für Radionuklide	A) Ja B) Ja C) Ja D) Ja
Erläuterungen					
<p>A) Durch den Versatzkörper bzw. Buffer wird die Kontur der Einlagerungsstrecke stabilisiert und damit die Entstehung neuer Wegsamkeiten verhindert.</p> <p>B) Das Quellen von Bentonit erhöht den Strömungswiderstand des Versatzkörpers und verzögert Lösungszutritt und Freisetzung kontaminierter Lösungen.</p> <p>C) Bentonite puffern das geochemische Milieu und beeinflussen damit Alterations- und Korrosionsprozesse und Radionuklidmobilisierung in günstiger Weise.</p> <p>D) Freigesetzte Radionuklide werden im Bentonit eingebaut bzw. rückgehalten.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.1 Komponenten					
4.1.16	Z	Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Einlagerungsbereich)	Das FEP beschreibt offene und verschlossene Bohrungen im Wirtsgestein sowie deren chemische, hydraulische und mechanische Eigenschaften. Sie werden nach der Erkundung überfahren oder hochwertig verfüllt und verschlossen. Konzept: alle	Bohrungen durchstoßen das Wirtsgestein – ggf. teils die geologische Barriere - und stellen Wegsamkeiten dar.	Ja
Erläuterungen Diese Bohrungen beeinträchtigen ggf. die Einschlusswirksamkeit des Wirtsgesteins. Die hydraulischen Eigenschaften der Bohrlochverfüllung bestimmen, ob eine hydraulisch wirksame Wegsamkeit vorliegt. Ein qualitativ hochwertiger Verschluss erhält die Einschlusswirksamkeit des Wirtsgesteins.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.1 Komponenten					
4.1.17	Z	Bohrlochverschluss	<p>Das FEP beschreibt den Bohrlochverschluss, der aus Dichtelement (Bentonit) und Widerlager (Beton) besteht. Im Salz werden die horizontalen Bohrlöcher mit einem Stahldeckel versehen. Die Bohrlochkeller über den vertikalen Bohrlöchern werden mit Salzgrus versetzt, vgl. FEP 4.1.14 <i>Versatz (Einlagerungsbereich)</i>.</p> <p>Konzept: Ton (BL), Kristallin (MewG)</p>	Ein Verschluss verzögert den Lösungszutritt in das und die Freisetzung von Radionukliden aus dem Einlagerungsbohrloch.	Ja
Erläuterungen					
Die mechanischen und hydraulischen Eigenschaften des Verschlusses gewährleisten den Einschluss der Radionuklide im Einlagerungsbohrloch.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.1 Komponenten					
4.1.18	Z	Verschlussbauwerke	<p>Verschlussbauwerke bestehen aus Dichtelementen (Bentonit, Asphalt) und Widerlagern (Beton), die einfach ausgeführt sind. Das FEP umfasst thermische, mechanische, chemisch-mineralogische und hydraulische Eigenschaften.</p> <p>Konzept: Ton (alle), Kristallin (KBS-3, MewG)</p>	<p>A) Begrenzung eines Lösungszutritts und der Freisetzung kontaminierter Lösung</p> <p>B) Stützwirkung für das Wirtsgestein</p> <p>C) Beeinflussung des geochemischen Milieus</p>	<p>A) Ja</p> <p>B) Ja</p> <p>C) Ja</p>
Erläuterungen					
<p>A) Sie dienen der Minimierung von Fluidströmen im Grubengebäude. Der Transport von Fluiden und Schadstoffen durch die Verschlussbauwerke wird von den Material- und Barriereigenschaften beeinflusst. Dabei ergibt sich die Permeabilität der Verschlüsse aus dem Bauwerk und der umgebenden Kontakt- und Auflockerungszone.</p> <p>B) Stützwirkung erhält die Integrität des Wirtsgesteins und verhindert die Ausweitung der Auflockerungszonen.</p> <p>C) Verschlussmaterialien beeinflussen die Lösungszusammensetzungen, z. B. durch Zementkorrosion, sowie das Quellvermögen der Tone, die Elementlöslichkeiten und das Sorptionsvermögen von Radionukliden.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.1 Komponenten					
4.1.19	Z	Endlagergebände und Transferbehälter (Einlagerungsbereich)	<p>Das FEP beschreibt die Materialien und Eigenschaften der Endlagergebäude und Transferbehälter. Mit Transferbehältern werden nicht abgeschirmte Gebinde transportiert.</p> <p>Eine geringe Anzahl von Gebinden kann aufgrund von Fertigungs- und Messfehlern unerkannte Defekte aufweisen. Ohne weitere Einwirkungen werden diese Gebinde als dicht angenommen.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>Transferbehälter wird bei der Einlagerung des Endlagergebändes entfernt. Das Endlagergebäude hat Auswirkungen durch</p> <p>A) Gasbildung durch Korrosion, B) Forderung der Bergbarkeit und Dichtigkeit, C) unerkannte Defekte.</p>	<p>A) Ja B) Ja C) Ja</p>
<p>Erläuterungen</p> <p>A) Behältermaterialien können korrodieren und Gase bilden, die auf Fluiddruck und Fluidbewegungen einwirken.</p> <p>B) Gewährleistung des Einschlusses der Radionuklide für mindestens 500 Jahre und der regulatorisch geforderte Bergbarkeit.</p> <p>C) Aufgrund unerkannter Defekte können volatile Radionuklide freigesetzt werden. Eine Freisetzung von Radionukliden und chemotoxischen Stoffen ist auch aus Behältern möglich, die durch Störfälle beschädigt wurden. Die Schadstoffe können eine Kontamination des Gebirges verursachen und langfristig in die Biosphäre gelangen.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.1 Komponenten					
4.1.20	Z	Fahrzeuge (Einlagerungsbereich)	Es werden drei Fahrzeugkategorien unterschieden: Bergbaumaschinen, wie Teilschnitt- und Bohrmaschinen, Transportfahrzeuge für Endlagergebäude und Transferbehälter sowie Einlagerungsmaschinen. Konzept: alle	Keine	Keine
Erläuterungen Fahrzeuge werden vor dem Verschluss aus dem Grubengebäude entfernt.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.2 Prozesse und Ereignisse					
4.2.1	E/P	Auffahrung von Strecken (Einlagerungsbereich)	Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Streckenauffahrung. Konzept: alle	Spannungszustand im Gebirge und Gesteins-eigenschaften, insbesondere der Auflockerungszone	Ja
Erläuterungen					
Spannungsverhältnisse im Wirtsgestein und Eigenschaften der Auflockerungszone werden von der Streckenauffahrung beeinflusst.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.2 Prozesse und Ereignisse					
4.2.2	E/P	Bohren eines Einlagerungsbohrloches	Das FEP beschreibt alle Betriebsabläufe beim Bohren von Einlagerungsbohrlöchern. Konzept: Ton (BL), Salz (VBL, HBL, TLB), Kristallin (KBS-3, MewG)	A) Beeinflussung der Auflockerungszone B) Beeinflussung der Konvergenz	A) Ja B) Salz, Ton: Ja Kristallin: Keine
Erläuterungen					
A), B) Vorgänge beeinflussen die Anfangsbedingungen zu Beginn der Nachverschlussphase. Im Kristallin ist die Konvergenz sehr gering.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.2 Prozesse und Ereignisse					
4.2.3	E/P	Ausbau von Strecken (Einlagerungsbereich)	Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Streckenausbaus. Konzept: Ton (alle), Kristallin (alle)	Beeinflussung der Spannungsverhältnisse im Wirtsgestein und der Eigenschaften der ALZ.	Ja
Erläuterungen					
Die Spannungsverhältnisse des umgebenden Gesteins und die Eigenschaften der ALZ beeinflussen die Barrieren in Einlagerungsbereichen, siehe FEP 4.1.18 <i>Verschlussbauwerke</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.2 Prozesse und Ereignisse					
4.2.4	E/P	Ausbau eines Einlagerungsbohrloches	Das FEP beschreibt alle Betriebsabläufe beim Einbringen des Bohrlochausbaus inkl. Buffer. Konzept: Ton (BL), Salz (VBL, HBL), Kristallin (MewG)	A) Beeinflussung der Spannungsverhältnisse im Wirtsgestein und der Eigenschaften der ALZ B) Beeinflussung der Konvergenz	A) Ja B) Salz, Ton: Ja Kristallin: Keine
Erläuterungen					
A) Die Spannungsverhältnisse des umgebenden Gesteins und die Eigenschaften der ALZ beeinflussen die Bohrlochverschlüsse, siehe FEP 4.1.17 <i>Bohrlochverschlüsse</i> .					
B) Konvergenz beeinflusst die Anfangsbedingungen zu Beginn der Nachverschlussphase. Im Kristallin ist die Konvergenz sehr gering.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.2 Prozesse und Ereignisse					
4.2.5	E/P	Einlagerungs- betrieb	Das FEP umfasst die bestimmungsgemäßen Betriebsprozesse beim Transport und bei der Einlagerung von Endlagergebinden. Erschütterungen, Luftfeuchte, Gase, usw. während des Betriebs (Auffahrung) können bereits vorhandene Einlagerungsbereiche beeinflussen. Konzept: alle	keine	Keine
Erläuterungen					
Im Normalbetrieb lässt die Transport- und Einlagerungstechnik in den Einlagerungsbereichen keine Auswirkungen auf die ALZ und das Wirtsgesteins erwarten. Unfälle bzw. Störfälle werden durch Versagen-FEPs beschrieben, wie z. B. FEP 4.3.4 <i>Versagen von technischen Einrichtungen</i> sowie FEP 4.3.12ff.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.2 Prozesse und Ereignisse					
4.2.6	E/P	Bewetterung (Einlagerungsbereich)	Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit). Während des Betriebes müssen die Einlagerungstrecken bewettert werden. Es gibt jahreszeitliche Schwankungen. Konzept: alle	Eigenschaften von Wirtsgestein und ALZ	Ton: Ja Salz, Kristallin: Keine
Erläuterungen					
Im Salz und Kristallin wird der Einfluss aufgrund der kurzen Zeitspanne der Bewetterung als unerheblich eingeschätzt. Im Tongestein ist die Austrocknung bei anhaltender Bewetterung durch geschlossenen Ausbau eingeschränkt, aber nicht zu vernachlässigen. Veränderte Gesteinseigenschaften können z. B. das Sorptionsvermögen beeinflussen.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.2 Prozesse und Ereignisse					
4.2.7	E/P	Metallkorrosion (Einlagerungsbereich)	Das FEP beschreibt die (elektro-) chemische Reaktion von Metallen mit den Stoffen der Umgebung bei Gegenwart von wässrigen Lösungen oder Wasserdampf. Metalle liegen in den Bohrlöchern vor. Stahl liner und Endlagerbehälter verbleiben und korrodieren. Konzept: alle	A) Anaerobe Korrosion bewirkt Gasbildung. B) Endlagerbehälter, Stahl liner und Stahl deckel korrodieren. C) Beeinflussung des geochemischen Milieus. D) Einwirkung auf Stützwirkung durch Volumenzunahme.	A) Ja B) Ja C) Ja D) Ja
Erläuterungen A) Anaerobe Gasbildung in abgeworfenen Einlagerungsbereichen aufgrund von verfügbarer Feuchtigkeit, siehe FEP 4.1.13. <i>Gase (Einlagerungsbereich)</i> . B) Die Integrität der Endlagerbehälter kann durch Korrosion beeinträchtigt werden, insbesondere bei unerkannten Defekten und Beschädigungen. Durch die Korrosion der Stahl liner können sich lokal Wegsamkeiten bilden. C) Fe-Ionen gelangen in Lösungen und verändern deren Zusammensetzungen. Im Ton und Kristallin kann die Quellfähigkeit der Tone beeinträchtigt werden. D) Korrosion und Volumenzunahme kann die Stützwirkung der Stahl liner beeinflussen.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.2 Prozesse und Ereignisse					
4.2.8	E/P	Zementkorrosion (Einlagerungsbereich)	Chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit Lösungen. Konzept: alle	A) Beeinflussung des geochemischen Milieus, B) Wegsamkeiten im Ausbau, C) Beeinflussung der Verschlussbauwerke D) Beeinträchtigung der mechanischen Stabilität	A) Salz: keine Ton, Kristallin: Ja B) Salz: keine Ton, Kristallin: Ja C) Salz: keine Ton, Kristallin: Ja D) Salz: keine Ton, Kristallin: Ja
Erläuterungen					
Im Salz sind keine Komponenten aus Zement im Einlagerungsbereich vorgesehen.					
A) Einfluss auf das geochemische Milieu; z. B. Zementkorrosionsprodukte beeinflussen das Quellvermögen der Tone, Löslichkeiten/Sorption der Radionuklide.					
B) Durch Korrosion von Zement können Wegsamkeiten im Betonausbau entstehen. Dies beeinflusst Lösungsbewegungen in der Nachverschlussphase.					
C) Durch Korrosion von Zement können Widerlager beeinträchtigt werden.					
D) Durch Entfestigung des Betonausbaus wird die stabilisierende Funktion vermindert und Spannungsumlagerungen ausgelöst.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.2 Prozesse und Ereignisse					
4.2.9	E/P	Spannungsänderung (Einlagerungsbereich)	Veränderungen des Beanspruchungszustandes in Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch, thermisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten sowie Änderungen des Fluiddrucks in Lösungen und Gasen. Spannungsänderungen können aus betrieblichen Lasten, chemischen Prozessen oder der Geosphäre (z. B. Erdbeben) resultieren. Konzept: alle	Spannungsänderungen bewirken Konvergenz und Verformungen und können Gebirgsbewegung, Gesteinsentfestigung, Aufweitung von Auflockerungszonen und Klüfte hervorrufen.	Ja
Erläuterungen Spannungszustände in umgebenden Gebirgsbereichen bestimmen den Ausgangszustand für die Konvergenzverlauf in der Nachbetriebsphase, siehe FEP 4.2.10 <i>Konvergenz (Einlagerungsbereich)</i> . Gebirgsbewegungen und Gesteinsentfestigungen beeinflussen die Einschlusswirksamkeit des Wirtsgesteins und die ALZ, siehe FEP 4.1.10 <i>Auflockerungszone (Einlagerungsbereich)</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.2 Prozesse und Ereignisse					
4.2.10	E/P	Konvergenz (Einlagerungsbereich)	Die Konvergenz bezeichnet die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im umgebenden Gebirge einsetzen. Konzept: alle	A) Schließen des Firstspalts B) Kompaktion von Versatz C) Schließen der Auflockerungszonen D) Einspannen der Verschlussbauwerke	A), B), C), D) Salz, Ton: Ja Kristallin: Nein
Erläuterungen					
Im Salz gelten diese Auswirkungen uneingeschränkt, im Ton nur bei Versagen oder Entfernen des Ausbaus. Im Kristallin ist Konvergenz unbedeutend aufgrund sehr geringer Raten.					
A) Im Versatz bildet sich durch Setzung ein Firstspalt, der durch Konvergenz geschlossen wird.					
B) In versetzten Grubenbereichen beeinflusst die Konvergenz bereits in der Betriebsphase die Kompaktion des Versatzes.					
C) Der Stützdruck des Versatzes verringert die Permeabilität der Auflockerungszone.					
D) Durch Einspannen der Verschlüsse werden mechanische und hydraulische Anfangsbedingungen in der Nachverschlussphase beeinflusst. Der Strömungswiderstand wird durch Schließen der Kontakt- und Auflockerungszone beeinflusst (integrale Permeabilität).					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.2 Prozesse und Ereignisse					
4.2.11	E/P	Fluidzutritt (Einlagerungsbereich)	Übertritt von Fluiden (wässrige Lösungen, Gase und flüssige Kohlenwasserstoffe) aus dem Wirtsgestein in den Einlagerungsbereich. Konzept: alle	A) Beeinflussung des geochemischen Milieus. B) Alterations- und Korrosionsprozessen der Endlagergebände und der geotechnischen Barrieren. C) Beeinflussung des Fluiddrucks D) Bildung explosionsfähiger Gasgemische E) Entstehung eines Feuers F) Flutung des Einlagerungsbereiches	A) Ja B) Ja C) Ja D) Ja E) Salz, Ton: Ja Kristallin: Keine F) Ja
Erläuterungen					
Die Fluidmengen zu Beginn der Nachverschlussphase ändern sich.					
A) Fluidzusammensetzungen und -mengen beeinflussen u. a. Komplexierung, Ausfällung (Löslichkeit), Sorption und mikrobielle Prozesse.					
B) Fluide bewirken chemische Reaktionen an Verschlüssen und Ausbau, siehe u. a. FEP 4.2.7 <i>Metallkorrosion (Einlagerungsbereich)</i> , FEP 4.2.8 <i>Zementkorrosion (Einlagerungsbereich)</i> , mit Auswirkungen auf mechanische und hydraulische Eigenschaften.					
C) Fluidzutritte verändern den Fluiddruck und damit die hydraulische Last der Verschlüsse.					
D) Explosive Gasgemische können die Integrität der geotechnischen und geologischen Barrieren beeinträchtigen, siehe FEP 4.3.19 <i>Explosion (Einlagerungsbereich)</i> .					
E) Flüssige Kohlenwasserstoffe stellen eine Brandlast dar und können entzündet werden, siehe FEP 4.3.18 <i>Feuer (Einlagerungsbereich)</i> . Flüssige Kohlenwasserstoffe kommen im Kristallin nicht vor.					
F) Ein starker Lösungszutritt kann die weitere Einlagerung sowie Verfüll- und Verschlussmaßnahmen verhindern, siehe FEP 4.3.17 <i>Flutung der Grubenbaue (Einlagerungsbereich)</i> . Das Endlagersystem verändert sich völlig, eine Neubewertung ist erforderlich.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.2 Prozesse und Ereignisse					
4.2.12	E/P	Zersetzung von Organika (Einlagerungsbereich)	Das FEP umfasst die mikrobielle Degradation von organischen Bestandteilen der Abfälle, Moderatormaterialien, Asphalt der Verschlussbauwerke und Kohlenwasserstoffen. Konzept: alle	A) Gasbildung B) Beeinflussung des geochemischen Milieus C) Mobilisierung von Radionukliden D) Funktionalität der Verschlussbauwerke E) Verringerung der Moderatorwirkung	A) Ja B) Ja C) Ja D) Keine E) Ja
Erläuterungen					
<p>A) beeinflusst die Gasmenge, siehe FEP 4.1.13 <i>Gase (Einlagerungsbereich)</i>. Methan kann zur Bildung explosiver Gasgemische führen, siehe FEP 4.3.19.</p> <p>B) Kann insbesondere zur Änderung des pH-Werts durch organische Säuren und Bildung von Komplexbildnern führen.</p> <p>C) Freisetzung von volatilen Radionukliden aus den organischen Bestandteilen der Abfälle.</p> <p>D) Die Degradation von Asphalt in der relativ kurzen Betriebsphase kann die Dichtfunktionen von Verschlüssen nicht beeinträchtigen, erst die fortschreitende Degradation von Asphalt in der Nachbetriebsphase. Im Salz wird kein Asphalt verwendet.</p> <p>E) Zersetzung des Moderatormaterials beeinflusst die Radiolyse, siehe FEP 4.2.18 <i>Radiolyse</i>.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.2 Prozesse und Ereignisse					
4.2.13	E/P	Einbringen von Buffer und Versatz (Einlagerungsbereich)	Das FEP umfasst das Einbringen von Buffer-, Versatz- und Verfüllmaterialien während des Einlagerungsbetriebs im Rückbau - insbesondere die Verfüllung von Resthohlräumen um Einlagerungsgebäude. Konzept: alle	Die Qualität des Einbaus bestimmt mechanische, chemische und hydraulische Eigenschaften des Versatzes.	Ja
Erläuterungen					
Die Einbringung bestimmt die Eigenschaften von Buffer und Versatz am Ende der Betriebsphase und damit den Anfangszustand der Barrieren in der Nachverschlussphase, siehe FEP 4.1.14 <i>Versatz (Einlagerungsbereich)</i> und FEP 4.1.15 <i>Buffer in Einlagerungstrecken</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.2 Prozesse und Ereignisse					
4.2.14	E/P	Erstellen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Einlagerungsbereich)	Stoßen und Verfüllen bzw. Verschließen von Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen. Konzept: alle	A) Anbohren von unerkannten Fluidreservoirien B) Erkundungsbohrungen sind Wegsamkeiten	A) Ja B) Ja
Erläuterungen A) Durch das Anbohren von unerkannten Lösungs- und Gasreservoirien im Wirtsgestein können Lösungen und Gase dem Grubengebäude zutreten und den Ausgangszustand für die Nachverschlussphase verändern, siehe FEP 4.2.11 <i>Fluidzutritt (Einlagerungsbereich)</i> . B) Unzureichend verschlossene Erkundungsbohrungen können hydraulisch wirksame Wegsamkeiten darstellen und die Einschlusswirksamkeit des Wirtsgesteins beeinträchtigen, siehe FEP 4.1.16 <i>Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Einlagerungsbereich)</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.2 Prozesse und Ereignisse					
4.2.15	E/P	Errichten eines Verschlussbauwerkes	Einbringen von Dichtelementen und Widerlagern im Einlagerungsbereich. Konzept: Ton (alle), Kristallin (KBS-3, MewG)	Die Qualität des Vorgangs bestimmt die mechanischen, chemischen und hydraulischen Eigenschaften und gewährleistet seine Funktion.	Ja
Erläuterungen					
Die Funktion eines Verschlussbauwerkes beeinflusst die Langzeitentwicklung und den Schadstofftransport, siehe FEP 4.1.18 <i>Verschlussbauwerke</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.2 Prozesse und Ereignisse					
4.2.16	E/P	Errichten des Verschlusses einer Einlagerungsbohrung	Einbringen von Dichtelementen und Widerlagern im Bohrloch Konzept: Ton (BL), Kristallin (MewG)	Die Qualität des Vorgangs bestimmt die mechanischen, chemischen und hydraulischen Eigenschaften des Bohrlochverschlusses und gewährleistet seine Funktion.	Ja
Erläuterungen					
Die Funktion eines Verschlusses beeinflusst die Langzeitentwicklung und den Schadstofftransport, siehe FEP 4.1.17 <i>Bohrlochverschluss</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.2 Prozesse und Ereignisse					
4.2.17	E/P	Radioaktiver Zerfall	Das FEP beschreibt Kernumwandlungsprozesse in den eingelagerten Radionukliden unter Aussendung von Strahlung. Konzept: alle	Der radioaktive Zerfall und Aufbau von Zerfallsprodukten verändert das radioaktive Inventar. Die Strahlung während der Betriebsphase kann das umgebende Wirtsgestein und das Verschlussmaterial beeinflussen.	Ja
Erläuterungen					
Das Inventar der Radionuklide zu Beginn der Nachverschlussphase ist eine wichtige Randbedingung für die Bewertung der Langzeitsicherheit. Die Eigenschaften des Wirtsgesteins (FEP 4.1.9), des Versatzes (FEP 4.1.14) und der Verschlüsse (FEP 4.1.17) gewährleisten deren Funktionen.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.2 Prozesse und Ereignisse					
4.2.18	E/P	Radiolyse	Das FEP beschreibt die Veränderung chemischer Verbindungen durch die Einwirkung ionisierender Strahlung. Mögliche Veränderungen sind z. B. eine Dissoziation von Molekülen oder die Bildung von Radikalen. Konzept: alle	Durch die Dissoziation von Molekülen können Gase entstehen.	Ja
Erläuterungen					
Gase beeinflussen die Langzeitentwicklung z. B. als Transportmedium von Radionukliden, siehe FEP 4.1.13 <i>Gase (Einlagerungsbereich)</i> . Auswirkungen können sich z. B. über Gasexplosionen (FEP 4.3.19) ergeben.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.2 Prozesse und Ereignisse					
4.2.19	E/P	Wärmestrom (Einlagerungsbereich)	Das FEP beschreibt die Übertragung von Wärme von eingelagerten Endlagergebänden, vom Gebirge, von Maschinen in die Grubenbaue und das umliegende Gebirge. Konzept: alle	Der Wärmestrom im Einlagerungsbereich beeinflusst A) das Verformungsverhalten des Salzes (Konvergenz), B) die Reaktionsgeschwindigkeit chemischer Prozesse sowie C) thermomechanische Spannungen.	A) Salz: Ja Ton, Kristallin: keine B) Ja C) Ja
Erläuterungen					
A) Im Salz wird die Konvergenz von der Wärme beeinflusst und ist wichtig für das Schließen von Auflockerungszonen und Firstspalten im Einlagerungsbereich, siehe FEP 4.2.10 <i>Konvergenz (Einlagerungsbereich)</i> .					
B) Wärme beeinflusst Korrosions- und Alterationsprozesse von Baustoffen und ALZ, bspw. siehe FEP 4.2.21 <i>Alteration der Auflockerungszone (Einlagerungsbereich)</i> .					
C) Temperaturdifferenzen bewirken thermomechanische Spannungen im Ausbau, in Verschlüssen und im Wirtsgestein, siehe FEP 4.2.22 <i>Thermische Expansion oder Kontraktion (Einlagerungsbereich)</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.2 Prozesse und Ereignisse					
4.2.20	E/P	Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Einlagerungsbereich)	Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Schichten von Tonmineralen bezeichnet. Im eingespannten Zustand eines Tonkörpers führt es zunächst zur Quelldruckänderung, während es im freien Zustand in einer Volumenänderung resultiert. Konzept: Ton (alle), Kristallin (alle)	A) Beeinflussung der Funktionen von Bohrlochverschlüssen, Verschlussbauwerken, Buffer und Versatz. B) Beeinflussung der Auflockerungszonen	A) Ja B) Ja
Erläuterungen					
A) Die Funktionalität von Dichtelementen aus Bentonit (FEP 4.1.17 <i>Bohrlochverschluss</i> und FEP 4.1.18 <i>Verschlussbauwerke</i>), Versatz (FEP 4.1.14), Buffer (FEP 4.1.15) und verschlossenen Erkundungsbohrungen (FEP 4.1.16) hängt vom Quellen der Tonminerale ab.					
B) Das Schließen der Auflockerungszonen um Bentonit wird durch den Quelldruckaufbau bestimmt.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.2 Prozesse und Ereignisse					
4.2.21	E/P	Alteration der Auflockerungszone (Einlagerungsbereich)	Das FEP umfasst chemisch-mineralogische Umwandlungen der Auflockerungszone durch Wetter oder zutretende Lösungen. Konzept: alle	A) Reduzierung der Feuchtigkeit in konturnahen Gebirgsbereichen im Ton. Kondensation von Feuchtigkeit an der Hohlraumkontur im Salz (Gipsbildung). B) Umlösung vom Salzmineralen und Umwandlung von Mineralen im Ton und Kristallin durch Lösungen.	A) Salz, Ton: Ja Kristallin: Keine B) Ja
Erläuterungen					
A) Schrumpfen und Rissbildungen sowie Pyritoxidation zu Eisenhydroxiden im Ton sowie Gipsbildung im Salz bedingen Volumenänderungen. Diese beeinflussen die hydraulischen Eigenschaften. Im Kristallin fehlen entsprechende Ausgangsmaterialien.					
B) Umlösung und Mineralumwandlungen führen zu Volumenveränderungen in ALZ und Wirtsgestein und beeinflussen Eigenschaften.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.2 Prozesse und Ereignisse					
4.2.22	E/P	Thermische Expansion oder Kontraktion (Einlagerungsbereich)	Das FEP beschreibt Volumenzunahme bzw. -abnahme von Fluiden und Feststoffen durch Veränderung der Temperatur. Konzept: alle	Funktionalität von Ausbau und Verschlussbauwerken.	Ja
Erläuterungen					
Durch thermomechanische Spannungen können sich in Auflockerungszonen und Verschlussbauwerken Risse bilden, wodurch hydraulische Funktionen eingeschränkt wären. Im Ausbau können Teilbereiche ausbrechen, wodurch lokale Funktionseinschränkungen eintreten.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.2 Prozesse und Ereignisse					
4.2.23	E/P	Überwachung (Einlagerungsbereich)	Kontrollaktivitäten, um den bestimmungsgemäßen Betrieb bzw. die erwarteten Standortbedingungen zu Beginn der Nachverschlussphase zu gewährleisten. Konzept: alle	Keine	Keine
Erläuterungen					
Das Monitoring für Langzeitentwicklungen ist gegenwärtig kein Bestandteil der technischen Endlagerkonzepte und wird daher nicht berücksichtigt. Die technischen Maßnahmen der Betriebsüberwachung sind Bestandteil der technischen Einrichtungen.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.2 Prozesse und Ereignisse					
4.2.24	E/P	Reparatur (Einlagerungsbereich)	Arbeiten an Einbauten, am Ausbau und an der Einlagerungs-, Versorgungs- und Transporttechnik in den Grubenbauen. Konzept: alle	Beim bestimmungsgemäßen Betrieb wird der Betriebsablauf durch Reparatur und Wartung nicht gestört.	Keine
Erläuterungen					
Technische und menschliche Fehler im Zusammenhang mit Reparaturarbeiten werden nicht im Detail behandelt, da es für die hier behandelten generischen Endlagerkonzepte keine Planungen für Reparatur und Wartung gibt. Unterbrechungen im Betriebsablauf sind möglich, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
4.3.1	E/P	Versagen des Streckenausbaus	Das FEP beschreibt das Ausbrechen des Ausbaus in den Querschlägen, Strecken und Kammern im Einlagerungsbereich aufgrund von menschlichen und technischen Fehlern, Alteration und Korrosion, unerwartet hohen Lasten und Erschütterungen. Konzept: alle	A) Unterbrechung im Betriebsablauf B) Versagen des Ausbaus C) Firstspalte oberhalb des Versatzes.	A) Ja B) Ja C) Ton: Ja Salz, Kristallin: Keine
Erläuterungen					
A) Versagen des Ausbaus kann zu Unterbrechungen im Betriebsablauf führen, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i> .					
B) Versagen des Ausbaus und resultierende Löserfälle können zur Beschädigung der Einlagerungstechnik und Endlagergebäude führen.					
C) Einerseits wird das Verschließen der Firstspalte oberhalb des Versatzes in Tongestein durch Konvergenz beschleunigt; andererseits können durch gebrochenen Ausbau Wegsamkeiten entstehen. Im Salz nur lokal Ausbau, im Kristallin zu geringe Konvergenzraten zum Verschließen eines Firstspalts.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
4.3.2	E/P	Versagen des Versatzes (Einlagerungsbereich)	Das FEP beschreibt Versatzkörper, die nicht anforderungsgerecht eingebaut und dessen Funktionen beeinträchtigt sind. Konzept: alle	A) Konturstabilisierung in abgeworfenen Grubenbereichen nicht ausreichend. B) größere Firstspalte durch Setzungen und Einbaufehler.	A) Ja B) Ja
Erläuterungen					
A) Bei unzureichender Konturstabilisierung können sich Schädigungen im Ausbau und Gesteinsauflockerungen ausweiten, siehe FEP 4.1.14 <i>Versatz (Einlagerungsbereich)</i> .					
B) Der Versatz verliert temporär seine Funktionen als Flammensperre bei Bildung von explosiven Gasgemischen in abgeworfenen Grubenbereichen und als Strömungswiderstand für Lösungsbewegungen, siehe FEP 4.1.14 <i>Versatz (Einlagerungsbereich)</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
4.3.3	E/P	Versagen des Buffers	Das FEP beschreibt Buffer, die nicht anforderungsgerecht eingebaut sind und mechanische und hydraulische Anforderungen nicht erfüllen. Konzept: Ton (SL), Kristallin (MewG, ÜewG)	A) Konturstabilisierung in abgeworfenen Grubenbereichen nicht ausreichend B) Firstspalte durch Einbaufehler	A) Ja B) Ja
Erläuterungen					
A) Bei unzureichender Konturstabilisierung können sich Schädigungen im Ausbau und Gesteinsauflockerungen ausweiten, siehe FEP 4.1.15 <i>Buffer (Einlagerungsbereich)</i> .					
B) Der Buffer verliert temporär seine Funktionen als Strömungswiderstand für Lösungsbewegungen, siehe FEP 4.1.15 <i>Buffer (Einlagerungsbereich)</i> . Lösungen können zu den Gebinden ungehindert vordringen bzw. möglicherweise kontaminierte Lösungen ungehindert abfließen.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
4.3.4	E/P	Versagen technischer Einrichtungen (Einlagerungsbereich)	Beschädigung und Funktionsausfall von technischen Einrichtungen durch Alteration oder Korrosion oder unerwartet hohe mechanische Lasten (Erdbeben), wie z. B. der Ausfall der Bewetterung oder der Stromversorgung. Konzept: alle	A) Unterbrechung im Betriebsablauf. B) Funktionsausfall bei der Einlagerung. C) Funktionsausfall der Bewetterung beim Transport der Gebinde. D) Bildung explosionsfähiger Gasgemische. E) Stromausfall von sicherheitstechnisch wichtigen Anlagen	A) Ja B) Ja C) Ja D) Ja E) Keine
Erläuterungen					
<p>A) Schäden an technischen Einrichtungen vor Einlagerung von Endlagergebinden werden behoben und können zu Verzögerungen im Betriebsablauf führen, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i>.</p> <p>B) Funktionsausfälle der Anlagen bei der Einlagerung können zur Unterbrechung im Betriebsablauf führen. Wenn Gebinde beschädigt werden, kann es zur Freisetzung von Radionukliden und chemotoxischen Stoffen kommen.</p> <p>C) Gebinde werden temporär nicht ausreichend gekühlt, nach dem Einschalten der Bewetterung kühlen sich die Gebinde wieder ab. Es ist zu überprüfen, ob Gebirge und technische Barrieren durch den Wärmeeintrag beeinträchtigt sind. Es kommt generell zur Unterbrechung im Betriebsablauf, siehe A)</p> <p>D) Feuer und Explosionen beeinflusst die Eigenschaften von Wirtsgestein und technischen Barrieren, siehe FEP 4.3.18 <i>Feuer (Einlagerungsbereich)</i> und FEP 4.3.19 <i>Explosion (Einlagerungsbereich)</i>.</p> <p>E) Bei Unterbrechung der Stromversorgung erfolgt der Übergang in einen sicheren Ruhezustand (fail-safe-Modus). Betriebsunterbrechungen wirken sich nicht auf die Nachverschlussphase aus, siehe A).</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
4.3.5	E/P	Versagen des Streckenverschlusses (Einlagerungsbereich)	Das FEP beschreibt ein Verschlussbauwerk, das mechanische und/oder hydraulische Anforderungen nicht erfüllt. Konzept: Ton (alle), Kristallin (KBS-3, MewG)	A) unzureichende Abdichtung eines Grubenbereiches B) unzureichende Stützung des Wirtsgesteins	A) Ja B) Ja
Erläuterungen					
A) Lösungen können im Einlagerungsbereich vordringen und sich möglicherweise kontaminierte Lösungen im Einlagerungsbereich ausbreiten und den Schadstofftransport beschleunigen.					
B) Es kann eine Ausweitung der Auflockerungszone erfolgen, wodurch sich der hydraulische Widerstand des Verschlusses verringert.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
4.3.6	E/P	Versagen des Verschlusses einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Einlagerungsbereich)	Das FEP beschreibt Verfüllungen und Verschlüsse, die mechanische und hydraulische Anforderungen nicht erfüllen. Konzept: alle	Bildung von hydraulischen Wegsamkeiten	Ja
Erläuterungen Eine neue hydraulische Wegsamkeit kann Lösungs- und Gaszutritte auslösen sowie Fluidbewegungen in der Nachverschlussphase ungünstig beeinflussen.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
4.3.7	E/P	Versagen des Bohrlochverschlusses	Das FEP beschreibt einen Bohrlochverschluss, der mechanische und/oder hydraulische Anforderungen nicht erfüllt. Konzept: Ton (BL), Kristallin (MewG)	Bildung einer hydraulischen Wegsamkeit	Ja
Erläuterungen					
Lösungen können in das Einlagerungsbohrloch vordringen bzw. ggf. kontaminierte Lösungen aus dem Einlagerungsbohrloch austreten.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
4.3.8	E/P	Versagen der Bohrlocheinbauten	Schienen in horizontalen Einlagerungsbohr- löchern können durch menschliche und technische Fehler und durch hohe Korro- sionsraten beschädigt werden und versagen. Konzept: alle	Einlagerung wird verzögert.	Ja
Erläuterungen					
Das Versagen der Bohrlocheinbauten eines horizontalen Kurzbohrloches (Schienen) kann die Einlagerung von Endlagergebinden behindern und eine Unterbrechung des Einlagerungsbetriebes verursachen, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
4.3.9	E/P	Versagen des Schlittens	Die Schlitten in horizontalen Einlagerungsbohrlöchern können durch menschliche und technische Fehler und durch hohe Korrosionsraten beschädigt werden und versagen. Konzept: alle	Einlagerung wird verzögert.	Ja
Erläuterungen					
Das Versagen des Schlittens kann die Einlagerung eines Endlagerbehälters (CASTOR-Behälter in Streckenlagerung) behindern und eine Unterbrechung des Einlagerungsbetriebes verursachen, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
4.3.10	E/P	Versagen des Ausbausystems vertikales Bohrloch	Das Ausbausystem wird durch Alteration und Korrosion beschädigt oder aufgrund unerwartet hoher mechanischer Lasten (z. B. durch Erdbeben). Konzept: Ton (BL), Salz (VBL), Kristallin (KBS-3, MewG)	A) Versagen des Ausbausystems vor Befüllung mit Endlagergebinden B) Versagen des Ausbausystems während der Befüllung. C) Versagen des Ausbausystems eines befüllten Einlagerungsbohrlochs.	A) Ja B) Ja C) Ja
Erläuterungen					
<p>A) Schäden an der Verrohrung (Innenliner) oder am Außenliner können dazu führen, dass das Bohrloch nicht vollständig verrohrt bzw. ausgebaut werden kann und dann aufgegeben werden muss. Eine mögliche Auswirkung auf die Langzeitsicherheit besteht in einem zusätzlichen Bohrloch, welches die Standortbedingungen verändert.</p> <p>B) Das Versagen während der Befüllung kann zur Unterbrechung im Betriebsablauf führen und je nach Ort und Ausprägung des Defektes die Integrität der Endlagergebände beeinträchtigen, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i> und FEP 4.3.12 <i>Versagen des Endlagergebindes oder Transferbehälters (Einlagerungsbereich)</i>. Bei intakten Gebinden ist eine Aufgabe des Bohrlochs möglich, siehe A).</p> <p>C) Wenn die Verrohrung ihre mechanische Schutzfunktion für ein Endlagergebände nicht mehr erfüllt, kann es zum Versagen der Endlagergebände kommen, siehe FEP 4.3.12 <i>Versagen des Endlagergebindes oder Transferbehälters (Einlagerungsbereich)</i>.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
4.3.11	E/P	Versagen des Ausbausystems horizontales Bohrloch	Das Ausbausystem wird durch Alteration und Korrosion beschädigt oder aufgrund unerwartet hoher mechanischer Lasten (z. B. durch Erdbeben). Konzept: Salz (HBL)	A) Versagen des Ausbausystems vor Befüllung mit Endlagergebinden B) Versagen des Ausbausystems während der Befüllung. C) Versagen des Ausbausystems eines befüllten Einlagerungsbohrlochs.	A) Ja B) Ja C) Ja
Erläuterungen					
<p>A) Schäden im Ausbausystem horizontales Bohrloch können dazu führen, dass das Bohrloch nicht vollständig verrohrt bzw. ausgebaut werden kann und dann aufgegeben werden muss. Eine mögliche Auswirkung auf die Langzeitsicherheit besteht in einem zusätzlichen Bohrloch, welches die Standortbedingungen verändert.</p> <p>B) Ein Versagen während der Befüllung kann zur Unterbrechung im Betriebsablauf führen und je nach Ort und Ausprägung des Defektes die Integrität der Endlagergebände beeinträchtigen, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i> und FEP 4.3.12 <i>Versagen des Endlagergebändes oder Transferbehälters (Einlagerungsbereich)</i>. Bei intakten Gebinden ist eine Aufgabe des Bohrlochs möglich, siehe A).</p> <p>C) Wenn die Verrohrung ihre mechanische Schutzfunktion für ein Endlagergebände nicht mehr erfüllt, kann es zum Versagen der Endlagergebände kommen, siehe FEP 4.3.12 <i>Versagen des Endlagergebändes oder Transferbehälters (Einlagerungsbereich)</i>.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
4.3.12	E/P	Versagen des Endlagergebirges oder Transferbehälters (Einlagerungsbereich)	Der Endlagerbehälter verliert seine Einschlußfunktion für die Radionuklide oder der Transferbehälter seine Schutzfunktion für den Endlagerbehälter. Dies kann eine Folge eines Unfalls (z. B. Bohrlochabsturz, Löserfall, Explosion) und/oder von unerkannten Defekten am Behälter sein. Konzept: alle	A) Versagen des Transferbehälters B) Versagen des Endlagerbehälters und Radionuklidfreisetzung	A) Ja B) Ja
Erläuterungen					
A) nur relevant, wenn auch der Endlagerbehälter versagt, siehe B). Es kommt zu Verzögerungen im Betriebsablauf, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i> .					
B) Es kann zu länger andauernden Verzögerungen im Betriebsablauf kommen, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i> . Kontaminationen im Wirtsgestein können die Standortbedingungen zu Beginn der Nachbetriebsphase verändern.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
4.3.13	E/P	Versagen von Bergbaumaschinen (Einlagerungsbereich)	Während des Betriebes können Beschädigungen durch Bohrarbeiten, Löserfall, technische und menschliche Fehler und Korrosion auch Defekte und Fehlfunktionen der Bergbaumaschinen verursachen. Konzept: alle	A) Funktionseinschränkungen von Einbauten, technischen Einrichtungen und Ausbau B) Verschlüsse C) Freisetzung chemotoxischer und brennbarer Stoffe	A) keine B) keine C) Ja
Erläuterungen					
A) Bei der Reparatur kommt es zu kurzen Unterbrechungen im Betriebsablauf, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i> .					
B) Verschlüssen können verändert oder verlegt werden – ohne Funktionseinschränkung.					
C) Feuer beeinflusst die Eigenschaften von Wirtsgestein und von technischen Barrieren, siehe FEP 4.3.18 <i>Feuer (Einlagerungsbereich)</i> . Kontaminationen im Wirtsgestein können die Standortbedingungen zu Beginn der Nachbetriebsphase verändern.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
4.3.14	E/P	Versagen von Transportfahrzeugen (Einlagerungsbereich)	Während des Betriebes können Beschädigungen durch Löserfall, technische und menschliche Fehler und Korrosion auch Defekte und Fehlfunktionen der Transportfahrzeuge verursachen. Konzept: alle	A) Unfälle. B) Freisetzung chemotoxischer und brennbarer Stoffe. C) Absturz eines Endlagergebindes mit unerkannten Defekten und Radionuklidfreisetzung.	A) Keine B) Ja C) Ja
Erläuterungen					
<p>A) Durch Unfälle kann die Funktion von Fahrzeugen, Fahrbahnen, Einbauten und technischen Einrichtungen eingeschränkt werden. Außerdem können Endlagergebäude, Transferbehälter, Ausbau und Konturbereiche beschädigt werden. Die Beschädigungen werden während der Betriebsphase beseitigt. Es kommt es zu kurzen Unterbrechungen im Betriebsablauf, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i>.</p> <p>B) Feuer beeinflusst die Eigenschaften von Wirtsgestein und technischen Barrieren, siehe FEP 4.3.18 <i>Feuer (Einlagerungsbereich)</i>. Kontaminationen im Wirtsgestein können die Standortbedingungen zu Beginn der Nachbetriebsphase verändern.</p> <p>C) Die Freisetzung radioaktiver Stoffe kann den Einlagerungsbetrieb lang andauernd verzögern und die Standortbedingungen zu Beginn der Nachbetriebsphase verändern.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
4.3.15	E/P	Versagen von Einlagerungsmaschinen (Einlagerungsbereich)	Während der Einlagerung können Beschädigungen durch technische und menschliche Fehler und Korrosion auch Defekte und Fehlfunktionen der Einlagerungsmaschinen verursachen. Konzept: alle	A) Unfälle. B) Freisetzung chemotoxischer und brennbarer Stoffe. C) Absturz eines Endlagergebindes mit unerkannten Defekten und Radionuklidfreisetzung.	A) Keine B) Ja C) Ja
Erläuterungen A) Unfälle von Einlagerungsmaschinen können die Funktion von Einbauten und technischen Einrichtungen einschränken. Die Einlagerungsmaschinen sind gemäß KTA redundant ausgelegt, so dass bei einer Störung der Mechanik oder Elektrik die Maschine in einen fail-safe-Modus übergehen würde. Alle Störfälle werden im Zuge von Demonstrationsversuchen simuliert und technische bzw. organisatorische Gegenmaßnahmen erprobt und analysiert. Endlagergebäude, Transferbehälter, Ausbau und Konturbereiche können bei einem Unfall beschädigt werden. Die Beschädigungen werden während der Betriebsphase beseitigt. Es kommt es zu Unterbrechungen im Betriebsablauf, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i> . B) Feuer beeinflusst die Eigenschaften von Wirtsgestein und technischen Barrieren, siehe FEP 4.3.18 <i>Feuer (Einlagerungsbereich)</i> . Kontaminationen im Wirtsgestein können die Standortbedingungen zu Beginn der Nachbetriebsphase verändern. C) Die Freisetzung radioaktiver Stoffe kann den Einlagerungsbetrieb verzögern und die Standortbedingungen zu Beginn der Nachbetriebsphase verändern. Beim Absturz einer Kokille in ein teilweise beladenes Bohrloch können bereits eingelagerte Behälter bzw. Endlagergebäude beschädigt werden, siehe FEP 4.3.12 <i>Versagen des Endlagergebindes oder Transferbehälters (Einlagerungsbereich)</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
4.3.16	E/P	Abschalungen und Löser (Einlagerungsbereich)	Spannungsumlagerungen im Wirtsgestein erweitern aufgelockerte und entfestigte Gesteinsbereiche. Diese können Risse bzw. Klüfte bilden, die zum Aufblättern oder Ausbrechen von Gestein an der Kontur führen. Konzept: alle	In nicht ausgebauten Grubenbereichen oder beim Versagen des Ausbaus können Abschalungen und Löser A) Auflockerungszonen beeinflussen, B) Funken bilden, C) zur Unterbrechung im Betriebsablauf führen, D) ein Endlagergebäude beschädigen, E) technische Einrichtungen beschädigen.	A) Ja B) Ja C) Ja D) Ja E) Ja
<p>Erläuterungen</p> <p>In Tongestein und im Kristallin werden die Grubenbaue ausgebaut und Löserfälle können nur beim Versagen des Ausbaus stattfinden.</p> <p>A) Abschalungen, Löser und die Ausweitung der ALZ können den einschlusswirksamen Gebirgsbereich schädigen und die Funktion von Verschlussbauwerken einschränken.</p> <p>B) Funkenbildung kann ein Feuer verursachen und die Eigenschaften von Wirtsgestein und technischen Barrieren beeinträchtigen, siehe FEP 4.3.18 <i>Feuer (Einlagerungsbereich)</i>.</p> <p>C) siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i>.</p> <p>D) kann zur Freisetzung von Radionukliden und chemotoxischen Stoffen führen und die Standortbedingungen zu Beginn der Nachbetriebsphase verändern.</p> <p>E) siehe FEP 4.3.4. <i>Versagen technischer Einrichtungen (Einlagerungsbereich)</i>.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
4.3.17	E/P	Flutung der Grubenbaue (Einlagerungsbereich)	Das FEP beschreibt einen starken Lösungszutritt durch Hochwasser (FEP 0.3.3), aus dem Deckgebirge (FEP 2.3.11) oder aus dem Wirtsgestein (FEP 3.1.6) in einen Einlagerungsbereich, der technisch nicht beherrscht werden kann. Konzept: alle	A) Unfällen bei Einlagerung und Transport. B) dauerhafte Betriebsunterbrechung. C) Umlösungen im Salz.	A) Ja B) Ja C) Salz: Ja; Ton, Kristallin: Nein
Erläuterungen					
A) Unfällen und Überflutung können zur Freisetzung von Radionukliden und chemotoxischen Stoffen führen und Kontaminationen verursachen.					
B) Einlagerungs- und Verschlussmaßnahmen können erst verspätet oder gar nicht durchgeführt werden. Die Unterbrechung des Betriebes führt zu veränderten Standortbedingungen zu Beginn der Nachverschlussphase, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i> . Eine dauerhafte Unterbrechung des Betriebes und eine Neubewertung sind erforderlich.					
C) Umlösungen von Salzmineralen im Wirtsgestein kann die geologische Barriere zusätzlich beeinträchtigen.					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
4.3.18	E/P	Feuer (Einlagerungsbereich)	Flammenbildung bei der Verbrennung. Ein Feuer kann in allen Bereichen des Grubengebäudes mit Brandlasten und Zündereignissen auftreten, z. B. Wärme und Funken. Voraussetzungen für ein Feuer sind Brennstoff, Luft und Zündung. Konzept: alle	A) Funktionseinschränkung von Verfüll- und Verschlussmaßnahmen. B) Schädigung von Gebirgsbereichen. C) Beschädigung von Endlagergebänden. D) lange Betriebsunterbrechung	A) Ja B) Ja C) Ja D) Ja
Erläuterungen					
A) Die Errichtung von Verschlussbauwerken kann erschwert sein, Funktionen der Verschlüsse beeinflussen die Systementwicklung.					
B) Gesteinsveränderungen und -entfestigungen beeinflussen die Einschusswirksamkeit des Wirtsgesteins, vgl. FEP 4.1.9 <i>Wirtsgestein (Einlagerungsbereich)</i> .					
C) Defekte können zur Freisetzung von Radionukliden bzw. chemotoxischen Stoffen führen und Kontaminationen des Gebirges verursachen, siehe FEP 4.3.21 und FEP 4.3.22. Kontaminationen können langfristig in die Biosphäre gelangen.					
D) Eine lange Unterbrechung kann zu veränderten Standortbedingungen zu Beginn der Nachverschlussphase führen, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
4.3.19	E/P	Explosion (Einlagerungsbereich)	Durch Explosionen werden Temperatur-, Druck- und Bewegungsenergie freigesetzt, z. B. Sprengen und <u>explosive Gasgemische</u> . Es werden große Gas- und Wärmemengen freigesetzt und starke Druckwellen gebildet, die das Volumen der Gase plötzlich ausdehnen. Konzept: alle	A) Funktionseinschränkungen von Verfüll- und Verschlussmaßnahmen. B) Schädigung von Gebirgsbereichen. C) Beschädigung von Endlagergebinden. D) lange Betriebsunterbrechung	A) Ja B) Ja C) Ja D) Ja
Erläuterungen					
<p>A) Die Errichtung von Verschlussbauwerken kann erschwert sein.</p> <p>B) Gesteinsveränderungen und -entfestigungen beeinflussen die Einschlusswirksamkeit des Wirtsgesteins, vgl. FEP 4.1.9 <i>Wirtsgestein (Einlagerungsbereich)</i>.</p> <p>C) Defekte können zur Freisetzung von Radionukliden bzw. chemotoxischen Stoffen führen und Kontaminationen des Gebirges verursachen, siehe FEP 4.3.21 und FEP 4.3.22. Kontaminationen können langfristig in die Biosphäre gelangen.</p> <p>D) Eine lange Unterbrechung kann zu veränderten Standortbedingungen zu Beginn der Nachverschlussphase führen, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i>.</p>					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
4.3.20	E/P	Bläser (Einlagerungsbereich)	Gasexhalationen mit hohem Druck und hohen Volumenströmen. Konzept: Ton (alle), Salz (alle)	A) Funktionseinschränkungen von Verfüll- und Verschlussmaßnahmen. B) Schädigung von Gebirgsbereichen. C) Beschädigung von Endlagergebinden D) Brandlasten und explosiver Gasgemische. E) Änderung des Fluiddrucks.	A) Ja B) Ja C) Ja D) Ja E) Nein
Erläuterungen					
A) Die Errichtung von Verschlussbauwerken kann erschwert sein.					
B) Gesteinsveränderungen und -entfestigungen beeinflussen die Einschlusswirksamkeit des Wirtsgesteins, vgl. FEP 4.1.9 <i>Wirtsgestein (Einlagerungsbereich)</i> . Neue Wegsamkeiten sind möglich.					
C) Defekte können zur Freisetzung von Radionukliden bzw. chemotoxischen Stoffen führen und Kontaminationen des Gebirges verursachen, siehe FEP 4.3.21 (<i>Einlagerungsbereich</i>) und FEP 4.3.22 (<i>Einlagerungsbereich</i>). Kontaminationen können langfristig in die Biosphäre gelangen.					
D) Brandlasten können Feuer und Explosionen verursachen, siehe FEP 4.3.18 <i>Feuer (Einlagerungsbereich)</i> und FEP 4.3.19 <i>Explosion (Einlagerungsbereich)</i> .					
E) kurzzeitige Erhöhung mit Änderung des Wirtsgesteins, siehe A) und B).					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
4.3.21	E/P	Freisetzung radioaktiver Stoffe (Einlagerungsbereich)	Ausbreitung von radioaktiven Stoffen durch Defekte und Beschädigungen von Behältern. Beim Transport von radioaktiven Stoffen können diese bei unerkannten Defekten oder Unfällen von Transportfahrzeugen freigesetzt werden. Konzept: alle	A) Kontaminationen des Gebirges B) längerfristige Betriebsunterbrechung.	A) Ja B) Ja
Erläuterungen A) Die Kontaminationen können langfristig in die Biosphäre gelangen. B) Eine lange Unterbrechung kann zu veränderten Standortbedingungen zu Beginn der Nachverschlussphase führen, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i> .					

Nr.	Z/E/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Nachverschlussphase (siehe Erläuterungen)	Relevanz für LZS (siehe Erläuterung)
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
4.3.22	E/P	Freisetzung chemotoxischer Stoffe (Einlagerungsbereich)	Ausbreitungen von chemotoxischen Stoffen durch Defekte und Beschädigungen von Behältern oder Versorgungsleitungen. Konzept: alle	A) Kontaminationen des Gebirges B) längerfristige Betriebsunterbrechung.	A) Ja B) Ja
Erläuterungen					
A) Die Kontaminationen können langfristig in die Biosphäre gelangen. B) Eine lange Unterbrechung kann zu veränderten Standortbedingungen zu Beginn der Nachverschlussphase führen, siehe FEP 0.1.1 <i>Unterbrechungen im Betriebsablauf</i> .					
4 FEP: Einlagerungsbereiche					
4.3 Einwirkungen von innen (EVI)					
4.3.23	E/P	Kritikalität	Definition Konzept: alle	Keine	Keine
Erläuterungen					
Das Auftreten kritischer Anordnungen muss in der Betriebsphase durch Entscheidungen vor dem Bau des Endlagerbergwerkes und der Einlagerung der Endlagergebäude in das Bergwerk vermieden werden. Der Ausschluss der Rekritikalität für die Nachverschlussphase wird durch die Auslegung der Behälter und das Abklingen bei der Zwischenlagerung sicherzustellen sein. Eine weitere Möglichkeit stellt das Layout des Endlagerbergwerkes dar.					

B Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit und Maßnahmen in der Betriebsphase (FEP-Tabelle Nachverschlussphase)

Der Anhang B enthält eine Dokumentation der FEP-Tabelle Nachbetriebsphase und mögliche Auswirkungen der langzeitigen Standortbedingungen und –entwicklungen auf Maßnahmen beim Bau und Betrieb bzw. für die Betriebssicherheit eines Endlagerbergwerks.

Die Nachverschlussphase beginnt mit der Stilllegung des Endlagerbergwerks. Anhand der FEP für die Nachverschlussphase soll aufgezeigt werden, welche Anforderungen sich aus möglichen Entwicklungen in der Nachverschlussphase für Maßnahmen in der Betriebsphase ableiten lassen. Die meisten für die Nachverschlussphase relevanten Prozess-FEP laufen bereits in der Betriebsphase ab, haben aber für die Betriebssicherheit in der Regel eine andere Ausprägung und/oder Relevanz als für die Langzeitsicherheit. Insbesondere langsam ablaufende und lang andauernde geologische oder klimatische Prozesse, für den im Vergleich dazu kurzen Zeitabschnitt der Betriebsphase ohne Bedeutung sind, können aufgrund ihrer Ausprägungen in der Nachverschlussphase schon in der Betriebsphase Maßnahmen fordern, damit das Endlagersystem in der Nachverschlussphase durch diese Prozesse nicht nachteilig beeinflusst wird.

Die Auswirkungen eines FEP auf das System und daraus resultierenden Maßnahmen in der Betriebsphase werden in der angefügten Zeile erläutert und begründet.

Die Abkürzungen im Anhang A gelten auch für den Anhang B.

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
1	P	Neotektonische Vorgänge	<p>Neotektonische Vorgänge sind Bewegungen der Erdkruste, die im gegenwärtigen tektonischen Regime Deformationsstrukturen erzeugen und damit den derzeit vorherrschenden Spannungszustand der Region charakterisieren.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>Großräumige, sehr langsame Bewegungen können für die Langzeitsicherheit nur über sehr lange Zeiträume wirksam werden.</p>	Keine.
<p>Erläuterungen: Der Prozess kann nicht durch Maßnahmen in der Betriebsphase beeinflusst werden.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
2	P	Orogenese	<p>Unter Orogenese wird die Gesamtheit aller Prozesse verstanden, die zur Bildung eines Gebirges (Orogen) beitragen.</p> <p>Konzept: nicht zu berücksichtigen</p>	Regionen in denen Orogenese stattfindet, scheiden im Standortauswahlverfahren aus.	Keine.
<p>Erläuterungen:</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
3	P	Senkung der Erdkruste	<p>Die Senkung der Erdkruste ist eine Form von Epirogenese und bezeichnet eine über lange geologische Zeiträume andauernde, weitgespannte Abwärtsbewegung, bei der die Gesteinsabfolge nicht durch spannungsabbauende Tektonik gestört wird.</p> <p>Konzept: alle</p>	Gebiete mit starken Senkungen scheiden im Standortauswahlverfahren aus. Geringe Senkungen sind für die LZS nicht relevant.	Keine.
<p>Erläuterungen: in der relativ kurzen Betriebsphase nicht relevant.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
4	P	Hebung der Erdkruste	<p>Die Hebung der Erdkruste ist eine Form von Epirogenese und bezeichnet eine über lange geologische Zeiträume andauernde, weit-spännige Aufwärtsbewegung, bei der die Gesteine der oberen Erdkruste nicht durch spannungsabbauende Tektonik gestört werden.</p> <p>Konzept: alle</p>	Gebiete mit starken Hebungen scheiden im Standortauswahlverfahren aus. Geringe Hebungen sind für die LZS nicht relevant.	Keine.
<p>Erläuterungen: in der relativ kurzen Betriebsphase nicht relevant.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
5	P	Krustendeformation	<p>Verformung der Erdkruste, die nicht tektonisch bedingt ist, sondern als isostatische Ausgleichsbewegung im Zuge einer Vergletscherung auftritt.</p> <p>Konzept: alle</p>	Sehr langsame und großräumige Bewegungen sind für die LZS nicht relevant.	Keine.
<p>Erläuterungen: Der Prozess kann nicht durch Maßnahmen in der Betriebsphase beeinflusst werden.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
6	P	Grabenbildung	<p>Grabenbildung (Taphrogenese) ist ein tektonischer Vorgang, der seine Ursachen in konvektiven Strömungen im Erdmantel hat.</p> <p>Konzept: nicht zu berücksichtigen</p>	Gebiete mit aktiver Tektonik scheiden im Standortauswahlverfahren aus.	Keine.
<p>Erläuterungen:</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
7	S	Erdbeben	<p>Großräumige tektonische Bewegungen können Spannungen innerhalb der Erdkruste aufbauen. Wenn sich die aufgestauten Spannungen in ruckartigen Bewegungen des Gesteins entladen, gibt es Verschiebungen. Die freigesetzte Spannungsenergie erzeugt Erschütterungen, die sich vom Erdbebenherd aus als seismische Wellen ausbreiten. Neben tektonisch verursachten Erdbeben gibt es vulkanisch, isostatisch und vom Menschen ausgelöste Beben.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>Erdbeben können in der frühen Nachverschlussphase die Verschlussbauwerke und das Gebirge beeinflussen. Verschlussbauwerke werden gegen das Bemessungserdbeben ausgelegt.</p>	<p>Ja.</p>
<p>Erläuterungen: Das Bemessungserdbeben ist bei der Auslegung aller kerntechnischer Anlagen zu berücksichtigen. Die in der Betriebsphase getroffenen Maßnahmen (für das Bemessungserdbeben) sind auch für die Nachverschlussphase ausreichend. Das Verfüllen der Hohlräume erhöht die Stabilität des Endlagersystems gegenüber dem Einwirken eines Erdbebens.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
8	P	Magmatismus	<p>Magmatismus kommt im Zusammenhang mit gebirgsbildenden Prozessen und entlang von Plattengrenzen der Kruste sowie innerhalb von Rift- oder tief reichenden Störungszonen vor. Es werden Magmen, Dämpfe und Gase gebildet.</p> <p>Es wird zwischen Extrusiva (Vulkanismus) und Intrusiva (Plutonismus) unterschieden.</p> <p>Konzept: nicht zu berücksichtigen</p>	Gebiete mit Magmatismus scheiden im Standortauswahlverfahren aus	Keine.
<p>Erläuterungen:</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
9	P	Gesteinsmetamorphose	<p>Unter Gesteinsmetamorphose versteht man die Umwandlung von Gefüge und mineralogisch-geochemischer Zusammensetzung eines vorhandenen Festgesteins unter geänderten Temperatur- und Druckbedingungen.</p> <p>Bei der Metamorphose kommt es zu Mineralreaktionen, d. h. zu Um- und Neubildung von Mineralen, teils bei Beteiligung von fluiden Phasen.</p> <p>Konzept: nicht zu berücksichtigen</p>	Für Metamorphose erforderliche Temperatur- und Druckbedingungen werden im Endlager nicht auftreten.	Keine.
Erläuterungen:					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
10	P	Hydrothermale Aktivität	<p>Hydrothermale Aktivität ist die Zirkulation von Lösungen im Umfeld von magmatischen Intrusionen oder infolge von Regional- und Dynamometamorphose in Verbindung mit tektonischen Prozessen oder großflächigen Absenkungen.</p> <p>Konzept: nicht zu berücksichtigen</p>	Gebiete mit hydrothermalen Aktivität scheiden im Standortauswahlverfahren aus.	Keine.
<p>Erläuterungen:</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
11	P	Erosion	<p>Erosion umfasst alle zur flächen- und linienhaften Abtragung der Erdoberfläche beitragenden Vorgänge, die Boden- und Gesteinsmaterial aus dem Verband lockern, lösen und verlagern, inklusive Verwitterung und Massenbewegungen.</p> <p>Konzept: alle</p>	Abtragung an der Erdoberfläche wird bei der Auswahl des Standorts und der Einlagertiefe berücksichtigt	Keine.
<p>Erläuterungen: Es sind keine Maßnahmen in der Betriebsphase möglich, um diesen Prozess für längere Zeiträume günstig zu beeinflussen.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
12	P	Sedimentation	<p>Sedimentation ist die Ablagerung von Feststoffpartikeln in einem Fluid.</p> <p>Konzept: alle</p>	Veränderung der Mächtigkeit des Deckgebirges	Keine.
<p>Erläuterungen: Es sind keine Maßnahmen in der Betriebsphase möglich, um diesen Prozess zu beeinflussen. Eine Erhöhung der Mächtigkeit des Deckgebirges wäre eine günstige Veränderung des Endlagersystems.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
13	P	Diagenese	<p>Diagenese ist durch Druck und Temperatur, chemische Auflösung sowie Ausfällung lang- oder kurzfristig ablaufende Umbildung lockerer Sedimente zu festen Sedimentgesteinen.</p> <p>Konzept: alle</p>	Beeinflussung der Gesteinseigenschaften im Deck- und Nebengebirge.	Keine.
<p>Erläuterungen: Der Prozess kann durch Maßnahmen in der Betriebsphase nicht beeinflusst werden.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
14	P	Diapirismus	<p>Diapirismus beschreibt das Aufdringen von Salzgestein aus tieferen Bereichen der Erdkruste.</p> <p>Maßgeblich für das Aufdringen sind ausreichender Überlagerungsdruck durch Gesteine und Schwächezonen im Gebirge, ausreichende Mächtigkeit von mobilisierbarem Salz sowie die den Salzaufstieg auslösenden Bewegungen an Störungen im präsalinaren Sockel.</p> <p>Konzept: Salz (alle), Kristallin (üewG)</p>	Beeinflussung des Wirtsgesteins	Keine.
<p>Erläuterungen: Der Prozess kann über die Wahl des Standorts hinaus nicht durch Maßnahmen in der Betriebsphase beeinflusst werden.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
15	P	Subrosion	<p>Subrosion ist die unter der Erdoberfläche durch Grundwässer stattfindende Ablaugung von Evaporiten.</p> <p>Konzept: Salz (alle), Kristallin (üewG)</p>	Langzeitstabilität des Wirtsgesteins	Keine.
<p>Erläuterungen: Der Prozess kann über die Wahl des Standorts hinaus nicht durch Maßnahmen in der Betriebsphase beeinflusst werden.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
16	P	Globale klimatische Veränderung	<p>Als globale klimatische Änderungen werden Änderungen der globalen Temperaturen und Niederschläge bezeichnet.</p> <p>Konzept: alle</p>	Beeinflussung der Entwicklungen des Endlagersystems	Keine.
<p>Erläuterungen: Maßnahmen in der Betriebsphase können Auswirkungen globaler klimatischer Veränderungen nicht beeinflussen.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
17	P	Transgression und Regression	<p>Transgression bzw. Regression bedeutet eine land- bzw. seewärtige Verlagerung der Küstenlinie, die mit dem Vorrücken und dem Rückzug des Meeres verbunden ist.</p> <p>Konzept: Ton (alle); Salz (alle)</p>	Beeinflussung der Entwicklungen des Endlagersystems	Ja.
<p>Erläuterungen: Schachtverschlüsse werden gegen den durch Überflutung möglichen Überlagerungsdruck ausgelegt, so dass ihre Funktion gewährleistet ist.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
18	P	Permafrost	<p>Teil einer kaltzeitlichen Entwicklung, die durch Temperaturen im Boden oder Gestein von mindestens zwei Jahren lang unter 0 °C gekennzeichnet ist.</p> <p>Abhängig von der Tiefenlage und den Druckverhältnissen ist der Boden dabei gefroren oder enthält Wasser, das die gleichen Tiefentemperaturen aufweist.</p> <p>Konzept: alle</p>	Beeinflussung des Deckgebirges und der oberen Bereiche der Schachtverschlüsse	Keine.
<p>Erläuterungen: Es sind keine Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen des Permafrostes möglich.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
19	P	Bildung kryogener Klüfte	<p>Kryogene Klüfte sind Trennfugen im Wirtsgestein, die genetisch im Zusammenhang mit Kaltzeiten stehen und auf eine Abkühlung und Kontraktion zurückzuführen sind.</p> <p>Konzept: nicht zu berücksichtigen</p>	Keine.	Keine.
<p>Erläuterungen:</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
20	P	Inlandvereisung in Randlage	<p>Bei Kaltzeiten kann sich eine Inlandvereisung bilden, die sich von Skandinavien ausgehend bis in die norddeutsche Tiefebene vorschiebt, wobei das vorrückende Eis den Standort nicht überdeckt, sondern der Eisrand in geringer Entfernung zum Stehen kommt.</p> <p>Im Vorland und in den randlichen Bereichen unterhalb des Inlandeises herrscht Permafrost.</p> <p>Konzept: alle</p>	Beeinflussung des Deckgebirges und des Wirtsgesteins, asymmetrische Belastung für Salzstöcke	Keine.
<p>Erläuterungen: Die Auswirkungen des Prozesses können über die Standortwahl hinaus nicht durch Maßnahmen in der Betriebsphase beeinflusst werden.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
21	P	Vollständige Inlandvereisung	<p>Bei Kaltzeiten werden Teile der Erdoberfläche durch eine mächtige Inlandvereisung bedeckt. Die Inlandvereisung wird von Skandinavien ausgehend nach Süden vorrücken und den Standort vollständig überdecken.</p> <p>Konzept: alle</p>	Beeinflussung des Deckgebirges und Wirtsgesteins, Veränderung der Spannungsverhältnisse in der Geosphäre durch Auflast.	Keine.
<p>Erläuterungen: Die Auswirkungen des Prozesses können über die Standortwahl hinaus nicht durch Maßnahmen in der Betriebsphase beeinflusst werden.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
22	P	Glaziale Rin- nenbildung	<p>Glazigene Rinnen sind hydromechanisch verursachte Erosionsformen unter einem großen Inlandeisschild.</p> <p>Konzept: alle</p>	Deckgebirgsmächtigkeit kann reduziert werden.	Keine.
<p>Erläuterungen: Die Auswirkungen des Prozesses können über die Standortwahl hinaus nicht durch Maßnahmen in der Betriebsphase beeinflusst werden.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
23	P	Meteoriteneinschlag	<p>Als Meteoriteneinschlag wird das Auftreffen von Festkörpern außerirdischen Ursprungs bezeichnet, die die Erdoberfläche erreichen. Dort können sie Schäden verursachen, deren Ausmaß u. a. vom Impuls des Meteoriten abhängt.</p> <p>Konzept: alle</p>	Ja.	Keine.
<p>Erläuterungen: Die Auswirkungen des Prozesses können nicht durch Maßnahmen in der Betriebsphase beeinflusst werden.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
24	Z	Niederschlags-eintrag	<p>Das FEP betrachtet Wasser, das dem End-lagersystem in Form von Niederschlag aus der Atmosphäre hinzugefügt wird.</p> <p>Konzept: alle</p>	Beeinflussung der Hydrogeologie im Deckgebirge.	Keine.
<p>Erläuterungen: Niederschlagswasser wird durch Drainagen in den Tagesanlagen gefasst; das spielt aber für den großflächigen Eintrag in das Gesamtsystem keine Rolle.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
25	Z	Abfallmatrix	<p>Als Abfallmatrix wird das Material bezeichnet, in dem Radionuklide gebunden sind. Das FEP beschreibt die Zusammensetzungen und die daraus resultierenden Eigenschaften der Abfallmatrix.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Radionuklidmobilisierung B) Kritikalität C) Wärmeleistung D) Strahlungsinduzierte Prozesse</p>	<p>A) Ja. B) Ja. C) Ja. D) Ja.</p>
<p>Erläuterungen: In der Betriebsphase sind folgende Maßnahmen möglich, um die Langzeitaspekte zu beeinflussen:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Produktkontrollen, Herstellung und Annahme der Gebinde (A, B, C), – Vermeidung von Beschädigungen der Abfallmatrices bei Transportvorgängen (A), – Entwicklung geeigneter Behälter zum Transport und zur Langzeitlagerung der Abfälle in diesen Matrices (A, B, C), – Thermische Endlagerauslegung (C), – Abschirmung der Abfälle (D). 					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
26	Z	Radioaktive Abfälle	<p>Das FEP beschreibt die Eigenschaften der eingelagerten Abfälle, insbesondere Aktivitätsinventare und stoffliche Zusammensetzung. Abfallmatrix und Behälter werden in separaten FEP behandelt.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Radionuklidmobilisierung B) Kritikalität C) Wärmeleistung D) Strahlungsinduzierte Prozesse</p>	<p>A) Ja B) Ja C) Ja D) Ja</p>
<p>Erläuterungen: In der Betriebsphase sind folgende Maßnahmen möglich, um die Langzeitaspekte zu beeinflussen:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Produktkontrollen, Herstellung und Annahme der Gebinde (A, B, C), – Beladung und Verfüllung der Behälter (B, C), – Anordnung der Abfälle im Behälter (B), – Thermische Endlagerauslegung (C), – Abschirmung der Abfälle (D). 					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
27	Z	Brennelement-Behälter	<p>Das FEP umfasst Materialien und Eigenschaften der Endlagerbehälter, die den Einschluss der ausgedienten Brennelemente während der Betriebsphase und in den ersten 500 Jahren nach dem Verschluss des Endlagers gewährleisten.</p> <p>Für Konzept KBS-3 und MewG im Kristallin sind Kupferbehälter mit einer Funktionsdauer von einer Million Jahre vorgesehen.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Einschluss der Radionuklide B) Kritikalität C) Beeinflussung des geochemischen Milieus D) Korrosion und Gasbildung</p>	<p>A) Ja B) Ja C) Ja D) Ja</p>
<p>Erläuterungen:</p> <p>In der Betriebsphase sind folgende Maßnahmen möglich, um die Behälterintegrität zu gewährleisten:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vermeidung von mechanischen Einwirkungen während des Transports, z.B. durch Transferbehälter (A), - Vermeidung von mechanischen Einwirkungen nach der Einlagerung, z.B. durch Bohrlochliner, Verfüllung (A), - Geeignete Beladung und Verfüllung der Behälter sowie günstige Anordnung der Brennelemente (B), - Geeignetes Material der Behälter (A, C, D), - Einbau von Buffer (A, C), - Vermeidung von defekten Behältern durch Qualitätssicherung (A). 					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
28	Z	Sonstige Endlagerbehälter	<p>Das FEP umfasst Materialien und Eigenschaften der Endlagerbehälter für z. T. wärmeentwickelnde Wiederaufarbeitungsabfälle und sonstige radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung, die den Einschluss der Abfälle während der Betriebsphase und für 500 Jahre nach dem Verschluss des Endlagers gewährleisten. Für Konzept KBS-3 und MewG im Kristallin sind Kupferbehälter mit einer Funktionsdauer von einer Million Jahre vorgesehen.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Einschluss der Radionuklide B) Beeinflussung des geochemischen Milieus C) Korrosion und Gasbildung</p>	<p>A) Ja B) Ja C) Ja</p>
<p>Erläuterungen:</p> <p>In der Betriebsphase sind folgende Maßnahmen möglich, um die Behälterintegrität zu gewährleisten:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vermeidung von mechanischen Einwirkungen während des Transports, z.B. durch Transferbehälter (A), - Vermeidung von mechanischen Einwirkungen nach der Einlagerung, z.B. durch Bohrlochliner, Verfüllung (A), - Geeignetes Material der Behälter (A, B, C), - Einbau von Buffer (A, B), - Vermeidung von defekten Behältern durch Qualitätssicherung (A). 					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
29	Z	Versatz	<p>Versatz umfasst eingebrachte Feststoffe, mit denen die Strecken, Schächte, Rampen und Kammern im Endlager verfüllt werden. Die Eigenschaften des Versatzes bestimmen dessen Verhalten gegenüber chemischen, thermischen, hydraulischen, mechanischen und anderen physikalischen Einwirkungen.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Stabilisierung der Grubenbaue B) Behinderung von Fluidbewegungen C) Beeinflussung des geochemischen Milieus D) Speicherung von Fluiden</p>	<p>A) Ja B) Ja C) Ja D) Ja</p>
<p>Erläuterungen: A) bis D): Material und Verfüllung entsprechen den langzeitsicherheitlichen Anforderungen im jeweiligen Konzept.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
30	Z	Sandverfüllung	<p>In Einlagerungsbohrlöchern wird der Zwischenraum zwischen Innenlinern bzw. Bohrlochlinern und Kokillen mit Sand verfüllt. Die Eigenschaften der Sandverfüllung ergeben sich aus der Mineralzusammensetzung, Kornform und Korngröße.</p> <p>Konzept: Ton: (BL); Salz (BL); Kristallin (mewG)</p>	<p>A) Stabilisierung des Bohrlochs B) Wegsamkeit für Fluide C) Beeinflussung der Wärmeausbreitung D) Beeinflussung des geochemischen Milieus</p>	<p>A) Ja B) Ja C) Ja D) Ja</p>
<p>Erläuterungen: A) bis D) Material und Verfüllung entsprechen den langzeitsicherheitlichen Anforderungen im jeweiligen Konzept.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
31	Z	Schachtverschlüsse	<p>Das FEP beschreibt den Aufbau sowie die physikalischen, chemischen und hydraulischen Eigenschaften der Schachtverschlüsse.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Verhinderung von Lösungszutritt und -freisetzung</p> <p>B) Behinderung von Fluidbewegungen</p> <p>C) Beeinflussung des geochemischen Milieus</p>	<p>A) Ja</p> <p>B) Ja</p> <p>C) Ja</p>
<p>Erläuterungen: A) bis C) Rezeptur, Einbringtechnik und Einbauort entsprechen den langzeitsicherheitlichen Anforderungen im jeweiligen Konzept.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
32	Z	Rampenverschlüsse	<p>Das FEP beschreibt den Aufbau sowie die physikalischen, chemischen und hydraulischen Eigenschaften der Rampenverschlüsse.</p> <p>Konzept: Kristallin (alle)</p>	<p>A) Verhinderung von Lösungszutritt und -freisetzung</p> <p>B) Behinderung von Fluidbewegungen</p> <p>C) Beeinflussung des geochemischen Milieus</p>	<p>A) Ja</p> <p>B) Ja</p> <p>C) Ja</p>
<p>Erläuterungen:</p> <p>A) bis C) Rezeptur, Einbringtechnik und Einbauort entsprechen den langzeitsicherheitlichen Anforderungen im jeweiligen Konzept.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
33	Z	Streckenverschlüsse	<p>Das FEP beschreibt den Aufbau sowie die physikalischen, chemischen und hydraulischen Eigenschaften der Streckenverschlüsse.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Verhinderung von Lösungszutritt und -freisetzung</p> <p>B) Behinderung von Fluidbewegungen</p> <p>C) Beeinflussung des geochemischen Milieus</p>	<p>A) Ja.</p> <p>B) Ja.</p> <p>C) Ja.</p>
<p>Erläuterungen:</p> <p>A) bis C) Rezeptur, Einbringtechnik und Einbauort entsprechen den langzeitsicherheitlichen Anforderungen im jeweiligen Konzept.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
34	Z	Bohrlochverschlüsse	<p>Die Bohrlochverschlüsse stellen Barrieren dar, die Einlagerungsbohrlöcher gegen Bohrlochüberfahrungsstrecken verschließen. Die Verschlüsse sind gegen chemische, thermische, mechanische und hydraulische Lasten ausgelegt.</p> <p>Aufgrund von Fehlerquoten bei der Materialherstellung und der Errichtung kann bei der großen Anzahl von Verschlüssen das vorzeitige Versagen weniger Verschlüsse eintreten.</p> <p>Konzept: Ton (BL); Kristallin (mewG)</p>	<p>A) Verhinderung von Lösungszutritt und -freisetzung</p> <p>B) Behinderung von Fluidbewegungen</p> <p>C) Beeinflussung des geochemischen Milieus</p>	<p>A) Ja.</p> <p>B) Ja.</p> <p>C) Ja.</p>
<p>Erläuterungen:</p> <p>A) bis C) Rezeptur, Einbringtechnik und Einbauort entsprechen den langzeitsicherheitlichen Anforderungen im jeweiligen Konzept.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
35	Z	Übertägige Erkundungsbohrungen	<p>Das FEP beschreibt die Geometrie der Erkundungsbohrungen, die an der Erdoberfläche angesetzt wurden und ins Nebengebirge bzw. Wirtsgestein reichen sowie die thermischen, physikalischen, chemischen und hydraulischen Eigenschaften ihrer Abdichtung. Weiterhin wird die Kontaktzone zwischen Bohrlochabdichtung und Bohrlochkontur (Auflockerungszone) betrachtet.</p> <p>Konzept: alle</p>	Potenzielle Wegsamkeit zwischen Grubengebäude und Biosphäre.	Ja.
<p>Erläuterungen: Technik und Material zu Verschluss und Verfüllung entsprechen den betriebs- und langzeitsicherheitlichen Anforderungen im jeweiligen Konzept. Begrenzung der Anzahl der Erkundungsbohrungen und Einhaltung eines Sicherheitsabstandes zwischen Bohrungen und Abfällen.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
36	Z	Untertägige Erkundungsbohrungen	<p>Das FEP beschreibt die Geometrie der untertägigen Erkundungsbohrungen im Wirtsgestein inkl. Untersuchungs-, Vorerkundungs-, Geotechnik- und Betriebsbohrungen sowie die physikalischen, chemischen und hydraulischen Eigenschaften ihrer Abdichtung. Weiterhin wird die Kontaktzone zwischen Bohrlochabdichtung und Bohrlochkontur betrachtet.</p> <p>Konzept: alle</p>	Potenzielle Wegsamkeit	Ja.
<p>Erläuterungen: Technik und Material zu Verschluss und Verfüllung entsprechen den betriebs- und langzeitsicherheitlichen Anforderungen im jeweiligen Konzept. Begrenzung der Anzahl der Erkundungsbohrungen und Einhaltung eines Sicherheitsabstandes zwischen Bohrungen und Abfällen.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
37	Z	Wegsamkeiten in Erkundungsbohrungen	<p>Wegsamkeiten in Erkundungsbohrungen sind Fließ- und Transportwege für Fluide.</p> <p>Konzept: alle</p>	Beeinflussung des Fluidtransports	Ja.
<p>Erläuterungen: siehe Erläuterungen zu FEP 35 <i>Übertägige Erkundungsbohrungen</i> und FEP 36 <i>Untertägige Erkundungsbohrungen</i></p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
38	Z	Buffer	<p>Das FEP beschreibt die Funktion, das Design und die Eigenschaften der Buffer sowie das Verhalten bei äußeren Einwirkungen und Kontakt mit dem Wirtsgestein. Buffer sind Teil der Nahfeldbarrieren.</p> <p>Konzept: Ton (alle); Kristallin (üewG; KBS-3)</p>	<p>A) Stabilisierung des Bohrlochs B) Wegsamkeit für Fluide C) Beeinflussung der Wärmeausbreitung D) Rückhaltung der Radionuklide E) Beeinflussung des geochemischen Milieus</p>	<p>A) Ja. B) Ja. C) Ja. D) Ja. E) Ja.</p>
<p>Erläuterungen: A) bis E) Material und Verfüllung entsprechen den langzeitsicherheitlichen Anforderungen im jeweiligen Konzept.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
39	Z	Migrationssperren	<p>Das FEP beschreibt das Design sowie die physikalischen und hydraulischen Eigenschaften der Migrationssperren.</p> <p>Konzept: Ton (SL)</p>	Behinderung von Lösungsbe- wegungen	Ja.
<p>Erläuterungen: siehe FEP 33 <i>Streckenverschlüsse</i>; Rezeptur, Einbringtechnik und Einbauort entsprechen den langzeitsicherheitlichen Anforderungen.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
40	Z	Technische Einrichtungen	<p>Als Technische Einrichtungen werden die Komponenten betrachtet, die während der Betriebsphase nicht zurückgebaut werden und im Grubengebäude verbleiben. Bei der Einlagerung von CASTOR-Behältern gehören auch Schlitten und Schienen zu den technischen Einrichtungen.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Korrosion und Gasbildung. B) Potentielle Wegsamkeiten C) Beeinflussung des geochemischen Milieus</p>	<p>A) Ja. B) Ja. C) Ja.</p>
<p>Erläuterungen: A) bis C) Die die Langzeitsicherheit beeinträchtigenden technischen Einrichtungen müssen während der Betriebsphase möglichst vollständig entfernt werden. Die Einrichtungen, wie Anker und Ausbauten, bestimmen die betrieblichen Vorgänge.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
41	Z	Bohrlochverrohrung	<p>Um bei der Bohrlochlagerung hochradioaktiver Abfälle und ausgedienter Brennelemente die Rückholung und Bergung der Endlagerbehälter zu gewährleisten, werden die Einlagerungsbohrlöcher verrohrt mittels Innen- und/ oder Außenliner.</p> <p>Konzept: Salz (BL, HBL), Ton (BL), Kristallin (mewG)</p>	<p>A) Beeinflussung des geochemischen Milieus B) Korrosion und Gasbildung C) Beeinflussung der mechanischen Verhältnisse</p>	<p>A) Ja. B) Ja. C) Ja.</p>
<p>Erläuterungen: A) bis C) Design und Einbau der Bohrlochverrohrung erfolgen gemäß langzeitsicherheitlichen Anforderungen, wie mechanische Stabilität, Korrosionsbeständigkeit und chemisches Verhalten, im jeweiligen Konzept. Die langzeitigen Anforderungen an die Verrohrung beeinflussen die betrieblichen Anforderungen und Abläufe (Materialauswahl, Einbau, Qualitätssicherung, Transportvorgänge usw.).</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
42	Z	Streckenaus- bau	<p>Aus Gründen der Arbeits- und Betriebssicherheit müssen die Grubenräume während der Betriebsphase durch offenen oder geschlossenen Streckenausbau stabilisiert werden.</p> <p>Der Streckenausbau verbleibt weitgehend im Bergwerk und beeinflusst chemische, hydraulische und mechanische Eigenschaften der verfüllten Grubenräume in der Nachver- schlussphase.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Beeinflussung der mechanischen Verhältnisse</p> <p>B) Beeinflussung der hydraulische Verhältnisse</p> <p>C) Beeinflussung des geochemischen Milieus</p> <p>D) Korrosion und Gasbildung</p> <p>Im Salz generell von geringer Relevanz</p>	<p>A) Ja.</p> <p>B) Ja.</p> <p>C) Ja.</p> <p>D) Ja.</p>
<p>Erläuterungen:</p> <p>A) bis D) Rezeptur und Design des Ausbaus dürfen die Langzeitsicherheit nicht beeinträchtigen. In der Betriebsphase können folgende Maßnahmen erfolgen: veränderte Materialien und teilweise Rauben des Ausbaus.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
43	Z	Innenliner	<p>Innenliner sind Teil der technischen Barrieren in den Einlagerungsbohrlöchern bestehend aus einer Stahlverrohrung, die dem mechanischen Schutz der rückholbaren Kokillen und der Verzögerung des Lösungszutritts zur rückholbaren Kokille dient. Außerdem wird die Rückholung und Bergung des Behälters ermöglicht.</p> <p>Konzept: Ton (BL)</p>	<p>A) Beeinflussung des geochemischen Milieus B) Korrosion und Gasbildung C) Beeinflussung der mechanischen Verhältnisse D) Beeinflussung der hydraulischen Verhältnisse</p>	<p>A) Ja. B) Ja. C) Ja. D) Ja.</p>
<p>Erläuterungen: A) bis D) Design und Einbau des Innenliners erfolgen gemäß den Anforderungen. Diese beeinflussen die betrieblichen Anforderungen und Abläufe (Materialauswahl, Einbau, Qualitätssicherung, Transportvorgänge usw.).</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
44	Z	Auflockerungszone und ungesättigte Zone	<p>Auflockerungszonen (ALZ) sind konturnah begrenzte und geschädigte Bereiche des den Hohlraum umgebenden Gebirges, der durch die auffahrungsbedingte Störung des Primärspannungszustandes, die damit verbundene Überschreitung der Dilatanzgrenze und die Änderung der Permeabilität entsteht. Die ungesättigte Zone umfasst den Teil des an den Grubenraum angrenzenden Gebirges, dessen Gebirgsfeuchtigkeit durch Bewetterung und Druckdifferenzen während der Betriebsphase reduziert ist (nur für Ton relevant).</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) potenzielle Wegsamkeiten B) Beeinflussung der hydraulischen Eigenschaften</p>	<p>A) Ja B) Ja</p>
<p>Erläuterungen:</p> <p>A) Folgende Maßnahmen sind möglich: Begrenzung der ALZ durch schonende Auffahrungstechnik, Nachschnitt der ALZ an Einbauorten der Verschlüsse, Ausbau der Grubenbaue.</p> <p>B) Eine ungesättigte Zone ist in Tongestein ist nicht zu vermeiden; diese beeinflusst die Aufsättigung von Buffer, Versatz und Ton in Verschlussbauwerken.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
45	P	Versagen eines Brennelement-Behälters	<p>Das FEP beschreibt den Verlust der Integrität eines Brennelement-Behälters in der Nachverschlussphase, der durch Produktionsfehler, betriebliche Störungen und mechanische oder chemische Einwirkungen verursacht wurde.</p> <p>Konzept: alle</p>	Freisetzung von Radionukliden	Ja.
<p>Erläuterungen: siehe FEP 27 <i>Brennelement-Behälter</i></p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
46	P	Ausfall eines sonstigen Endlagerbehälters	<p>Das FEP beschreibt den Verlust der mechanischen Stabilität und Integrität eines Behälters für Wiederaufarbeitungsabfälle oder sonstige Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung durch Produktionsfehler, betriebliche Störungen oder mechanische bzw. chemische Einwirkungen.</p> <p>Konzept: alle</p>	Beeinflussung der Radionuklidmobilisierung	Ja.
<p>Erläuterungen: siehe FEP 28 <i>Sonstige Endlagerbehälter</i></p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
47	P	Ausfall einer Bohrlochverrohrung	<p>Das FEP beschreibt den Verlust der mechanischen Stabilität einer Bohrlochverrohrung durch auslegungsüberschreitende Einwirkungen bzw. eine Kombination verschiedener Einwirkungen. Außerdem wird der Ausfall durch unerkannte Fertigungsfehler berücksichtigt.</p> <p>Konzept: Ton (BL); Salz (BL, HBL), Kristallin (mewG)</p>	Beeinflussung von mechanischen und hydraulischen Verhältnissen.	Ja.
<p>Erläuterungen: siehe FEP 41 <i>Bohrlochverrohrung</i>, kann die Bergbarkeit einschränken.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
48	P	Vorzeitiges Versagen eines Schacht- oder Rampenverschlusses	<p>Das FEP beschreibt das Versagen eines Schacht- und Rampenverschlusses durch auslegungsüberschreitende Einwirkungen bzw. eine Kombination verschiedener Einwirkungen, die zur signifikanten Erhöhung der hydraulischen Leitfähigkeit während der Funktionsdauer führen.</p> <p>Unter einem vorzeitigen Versagen wird eine Funktionseinschränkung des gesamten Verschlusses, nicht einzelner Elemente verstanden. Das FEP stellt somit sicher, dass die Auswirkungen eines Versagens des gesamten Verschlusses behandelt werden.</p> <p>Konzept: alle</p>	Beeinflussung von Lösungs- und Gaszutritt bzw. -freisetzung	Ja.
<p>Erläuterungen: siehe FEP 31 <i>Schachtverschlüsse</i> und FEP 32 <i>Rampenverschlüsse</i></p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
49	P	Vorzeitiges Versagen eines Streckenverschlusses	<p>Das FEP beschreibt das Versagen eines Streckenverschlusses durch Einwirkungen bzw. eine Kombination verschiedener Einwirkungen, die zu einer signifikanten Erhöhung der hydraulischen Leitfähigkeit während der Funktionsdauer führen. Unter einem vorzeitigen Versagen wird eine Beeinträchtigung der Funktion des gesamten Verschlusses, nicht einzelner Elemente verstanden. Das FEP stellt sicher, dass die Auswirkungen eines Versagens des gesamten Verschlusses behandelt werden.</p> <p>Konzept: alle</p>	Beeinflussung von Lösungs- und Gaszutritt bzw. -freisetzung	Ja.
<p>Erläuterungen: siehe FEP 33 <i>Streckenverschlüsse</i>.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
50	P	Vorzeitiges Versagen eines Bohrlochverschlusses	<p>Das FEP beschreibt das Versagen eines Bohrlochverschlusses durch Einwirkungen bzw. eine Kombination verschiedener Einwirkungen, die zur signifikanten Erhöhung der hydraulischen Leitfähigkeit während der Funktionsdauer führen.</p> <p>Unter einem vorzeitigen Versagen wird eine Beeinträchtigung der Funktion des gesamten Verschlusses, nicht einzelner Elemente verstanden. Das FEP stellt sicher, dass die Auswirkungen eines Versagens des gesamten Verschlusses behandelt werden.</p> <p>Konzept: Ton (BL); Kristallin (mewG)</p>	Beeinflussung von Lösungs- und Gaszutritt bzw. -freisetzung	Ja.
<p>Erläuterungen: siehe FEP 34 <i>Bohrlochverschlüsse</i>.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
51	P	Lageverschiebung des Schachtverschlusses	<p>Das FEP beschreibt die Änderung des Schachtverschlusses oder einzelner Elemente desselben gegenüber der Einbauposition.</p> <p>Konzept: alle</p>	Beeinflussung der Funktion des Schachtverschlusses	Ja.
<p>Erläuterungen: Aufsättigung der Bentonit-Dichtelemente und Salzbewegungen können zu einer geringen Verschiebung des Schachtverschlusses führen. Dies wird beim Design der Schachtverschlüsse (FEP 31) berücksichtigt.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
52	P	Versagen einer Migrationssperre	<p>Das FEP beschreibt den Ausfall einer Migrationssperre durch chemische, mechanische, hydraulische oder thermische Einwirkungen bzw. eine Kombination verschiedener Einwirkungen, die zu einem mindestens teilweisen Verlust der Dichtfunktion führen.</p> <p>Konzept: Ton (SL)</p>	Beeinflussung von Lösungs- und Gaszutritt bzw. -freisetzung	Ja.
<p>Erläuterungen: siehe FEP 39 <i>Migrationssperren</i></p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
53	Z	Lösungen im Grubenbau	<p>Lösungen im Grubenbau sind wässrige Lösungen und deren Eigenschaften, wie z. B. Zusammensetzung und Fluiddruck, die aus der Feuchte der eingebrachten Stoffe (Versatz, Verschlussmaterialien, Abfälle), der Luftfeuchte oder einem Zutritt aus dem Wirtsgestein oder dem Deckgebirge stammen.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Korrosion und Alteration B) Transportmedium für Radionuklide C) Fluiddruck</p>	<p>A) Ja. B) Ja. C) Ja.</p>
<p>Erläuterungen:</p> <p>A) Die Rezeptur der Baustoffe (vor allem Betone) wird entsprechend den erwarteten Lösungszusammensetzungen angepasst, um Korrosion bzw. Alteration zu minimieren.</p> <p>B) Durch technische Barrieren wird der Lösungsfluss zu den Abfällen begrenzt.</p> <p>C) Die Auslegung der Barrieren wird dem maximal erwarteten Fluiddruck angepasst.</p> <p>In Abhängigkeit vom Endlagerkonzept sind weitere Maßnahmen möglich:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Baustoffe mit möglichst wenig Lösungsanteil, - Luftfeuchte bei der Bewetterung begrenzen, ggf. Trocknung, - Lösungen im Wirtsgestein detektieren und sammeln, - anfallende Lösungen fassen und entfernen. 					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
54	Z	Gase im Grubenbau	<p>Das FEP beschreibt die Gasphase im Grubengebäude und deren Eigenschaften, wie z.B. Zusammensetzung und Fluiddruck.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Transportmedium für Radionuklide B) Fluiddruck</p>	<p>A) Ja. B) Ja.</p>
<p>Erläuterungen:</p> <p>A) Technische Maßnahmen, z. B. die Auslegung von Behältern oder Verschlüsse, können die Gasbildung und -migration reduzieren.</p> <p>B) Die Auslegung der Barrieren wird dem maximal erwarteten Fluiddruck angepasst.</p> <p>Um die Gasmenge in der Betriebsphase zu begrenzen, sollen die einzubringenden Baustoffe und Materialien möglichst wenig Gas bilden können (Korrosionsbeständigkeit) sowie Gase im Wirtsgestein detektiert und abgeführt werden.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
55	Z	Geochemisches Milieu im Grubengebäude	<p>Unter geochemischem Milieu versteht man eine charakteristische Umgebung, in der sich Stoffe befinden und miteinander reagieren können.</p> <p>Das geochemische Milieu im Grubenbau wird bestimmt durch wässrige Lösung, Festphasen und Gase, die miteinander in Kontakt stehen.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Korrosion und Gasbildung bzw. Alteration</p> <p>B) Radionuklidmobilisierung und Transport.</p>	<p>A) Ja.</p> <p>B) Ja.</p>
<p>Erläuterungen:</p> <p>A), B) Der Einfluss der eingebrachten Stoffe auf das geochemische Milieu im Grubengebäude wird analysiert und bewertet. Diese Stoffe bestimmen auch Transport- und Einlagerungsvorgänge der Betriebsphase durch z. B. Gewicht von Behältern, mechanische Eigenschaften oder radiologische Abschirmung.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
56	P	Kanalisation im Versatz	<p>Das FEP beschreibt die Ausbildung von Fließwegen (Kanälen) in Strömungsrichtung im Versatz, in denen sich ein strömendes Medium bevorzugt ausbreiten kann.</p> <p>Konzept: alle</p>	Beeinträchtigung des hydraulischen Widerstandes im Versatz	Ja.
<p>Erläuterungen: Versatzmaterial und Versatzkörper werden so ausgewählt bzw. eingebaut, dass eine Kanalisation möglichst verhindert wird (vgl. FEP 29 <i>Versatz</i>).</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
57	P	Kanalisation in Dichtelementen	<p>Das FEP beschreibt die Ausbildung von Fließwegen (Kanälen) in den Dichtelementen von Verschlüssen sowie im Buffer, in denen sich ein strömendes Medium bevorzugt ausbreiten kann.</p> <p>Konzept: alle</p>	Beeinträchtigung des hydraulischen Widerstandes eines Verschlusses bzw. Buffers	Ja.
<p>Erläuterungen: Material und Design von Dichtelementen bzw. Buffer werden so ausgewählt, dass eine Kanalisation möglichst verhindert wird (vgl. FEP 33 <i>Streckenverschluss</i>).</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
58	P	Lösungszutritt im Grubengebäude	<p>Das FEP beschreibt Lösungen aus dem Wirtsgestein oder dem Deckgebirge, die in das Grubengebäude gelangen.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Beeinflussung der Lösungsmenge und -zusammensetzung B) Beeinflussung quellfähiger Materialien</p>	<p>A) Ja B) Ja</p>
<p>Erläuterungen:</p> <p>A) In der Nachverschlussphase soll möglichst wenig Lösung im Grubengebäude vorhanden sein. Verfüll- und Verschlussmaßnahmen dienen der Verhinderung bzw. Begrenzung von Lösungszutritten, siehe FEP 31 <i>Schachtverschluss</i>, FEP 32 <i>Rampenverschluss</i>, FEP 29 <i>Versatz</i>, FEP 38 <i>Buffer</i>, FEP 33 <i>Streckenverschluss</i> und FEP 34 <i>Bohrlochverschluss</i>.</p> <p>B) Für Barrieren aus quellfähigen Materialien ist eine gleichmäßige Aufsättigung günstig. Dichtelemente aus Bentonit brauchen eine solche Aufsättigung, um die angestrebte Permeabilität zu erlangen (vgl. FEP 61 <i>Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen</i>).</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
59	P	Strömungsvorgänge im Grubengebäude	<p>Fluide können infolge von Potentialunterschieden die Hohlräume im Grubengebäude durchströmen. Wegsamkeiten für Fluide gibt es z. B. im Versatz, in den Porenräumen der technischen Bauwerke, in den Auflockerungszonen und in den Porenräumen der Abfallgebände.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Korrosion und Alteration B) Transport von Radionukliden C) Fluiddruck</p>	<p>A) Ja. B) Ja. C) Ja.</p>
<p>Erläuterungen:</p> <p>A) Die Rezeptur der Baustoffe wird entsprechend der erwarteten Hydrochemie angepasst, um Korrosion bzw. Alteration zu minimieren.</p> <p>B) Durch technische Barrieren und Versatz werden Strömungsvorgänge behindert und begrenzt. Der Einbau von Speicherräumen für Fluide führt zur Dämpfung von Volumenströmen.</p> <p>C) Auslegung der Barrieren wird dem maximal erwarteten Fluiddruck angepasst. Der Einbau von Speicherräumen für Fluide führt zur Dämpfung des Fluiddrucks.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
60	P	Nicht thermisch induzierte Volumenänderung von Materialien	<p>Das FEP beschreibt nicht thermisch induzierte Volumenänderungen durch mineralogische Umwandlungen im Gebirge (z. B. Anhydrit / Gips), chemische Prozesse (z. B. Korrosion von Metallen) sowie Setzung und Kompaktion von Verfüllmaterialien (z. B. Schotter, Sande). Nicht dazu gehören die Salzgruskompaktion, das Quellen von Bentonit und das Quellen von Beton, die eigene FEP darstellen.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Beeinträchtigung von Barrieren B) Beeinflussung der Eigenschaften von Sand bzw. Schotter durch Setzung</p>	<p>A) Ja B) Ja</p>
<p>Erläuterungen:</p> <p>A) Baustoffe und Versatzmaterialien werden so ausgewählt, dass Volumenänderungen möglichst gering ausfallen. Durch die Materialauswahl wird die Handhabung der Materialien in der Betriebsphase beeinflusst. Mineralumwandlungen sollen durch technische Maßnahmen – wie Ausbauen - vermieden, umgangen oder begrenzt werden.</p> <p>B) Setzungen von Schotter und Sanden werden durch Materialkonfiguration bzw. -eigenschaften (Korngröße, Kornform, Härte) reduziert.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
61	P	Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen	<p>Bei Wasseraufnahme quellen Tone und üben im eingespannten Zustand einen Druck auf Hohlraumkontur und angrenzende Bauwerke aus. Das Schrumpfen der Tonminerale kann die Einspannung der Verschlussbauwerke reduzieren. Die Volumenänderung der Tone hängt vom Chemismus der am Material anstehenden Lösungen ab.</p> <p>Konzept: alle</p>	Funktionalität der Barrieren	Ja.
<p>Erläuterungen: Baustoffe und Versatzmaterialien werden so ausgewählt, eingebaut und behandelt, dass der geforderte Quelldruck aufgebaut wird, oder dass späteres Schrumpfen die Funktion nicht beeinträchtigt. Im Tongestein müssen die Widerlager der Verschlüsse so ausgelegt werden, dass die Quelldrücke der Dichtelemente aufgenommen werden.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
62	P	Quellen und Schrumpfen von Beton	<p>Das FEP beschreibt nicht thermisch induzierte Volumenänderungen von Beton.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Beeinflussung der Funktionalität von Verschlussbauwerken</p> <p>B) Beeinflussung des Ausbaus und technischer Einrichtungen aus Beton</p>	<p>A) Ja.</p> <p>B) Keine.</p>
<p>Erläuterungen:</p> <p>A) Baustoffe und Rezepturen von Beton werden so ausgewählt, dass das Quellen und Schrumpfen die Funktionalität der Bauwerke nicht beeinträchtigt.</p> <p>B) Volumenänderungen des Ausbaus und anderer technischer Einrichtungen sind für die Langzeitsicherheit unbedeutend.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
63	P	Auflösung und Ausfällung	<p>Durch Auflösung gehen Feststoffe, darunter auch Radionuklide, teilweise oder völlig in Lösung. Ausfällung beschreibt den Übergang von Lösungsbestandteilen in Feststoffe. Im Steinsalz findet kongruente Auflösung statt, in Kalisalzen bzw. Abfallprodukten kann inkongruente Auflösung stattfinden. Beim Erreichen von Löslichkeitsgrenzen gelangen die Inhaltsstoffe der Lösung, darunter auch Radionuklide, in die Feststoffe.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Alteration von Baustoffen, Beeinflussung der Funktion von Verschlussbauwerken B) Langzeitstabilität des Wirtsgesteins C) Änderung der Konzentration von Radionukliden</p>	<p>A) Ja. B) Ja. C) Ja.</p>
<p>Erläuterungen:</p> <p>A), B) Wechselwirkungen von Feststoffen, Lösungen und Gasen beeinflussen die Prozesse über das geochemische Milieu, deren Ausmaße hängen von Stoffzusammensetzungen und -mengen ab. Die verbleibenden Einbauten in der Betriebsphase bestimmen die Stoffzusammensetzungen und -mengen. Maßnahmen in der Betriebsphase, wie z. B. Qualitätssicherung von Materialien, und Erkundung stellen das Milieu sicher.</p> <p>B) Einschränkung des Kontakts von Wirtsgestein mit Lösungen durch Verfüllungen und Verschlüsse, siehe FEP 53 <i>Lösungen im Grubenbau</i>.</p> <p>C) Einstellung eines geeigneten geochemischen Milieus durch Buffer und Versatz, siehe FEP 38 <i>Buffer</i> und FEP 29 <i>Versatz</i>.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
64	P	Metallkorrosion	<p>Die (elektro-)chemische Reaktion von Metallen mit den Stoffen der Umgebung wird als Metallkorrosion bezeichnet. Die Reaktionen erfolgen in Gegenwart von wässrigen Lösungen oder Wasserdampf.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Beeinflussung metallischer Komponenten, u. a. Endlagerbehälter</p> <p>B) Gasbildung</p> <p>C) Beeinflussung des geochemischen Milieus</p> <p>D) Volumenzunahme durch Korrosionsprodukte</p>	<p>A) Ja.</p> <p>B) Ja.</p> <p>C) Ja.</p> <p>D) Ja.</p>
<p>Erläuterungen:</p> <p>Die Auswirkungen der Metallkorrosion sind in der Regel ungünstig. Eine Beeinflussung des geochemischen Milieus (z. B. ein reduzierendes Milieus) kann allerdings die Löslichkeit einiger langzeitsicherheitsrelevanter Radionuklide reduzieren und die Sorption erhöhen. A) bis D) Der Prozess läuft auf jeden Fall ab; das Ausmaß hängt von Materialien, Stoffmengen und -zusammensetzungen der verfügbaren Lösungen ab. Einschränkende Maßnahmen umfassen die Auswahl der Metalle, die Begrenzung bzw. Reduzierung von Metallmengen und die Begrenzung von Lösungsmengen, siehe FEP 53 <i>Lösungen im Grubenbau</i>.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
65	P	Korrosion der Brennstoffmatrix	<p>Die Korrosion der Brennstoffmatrix beschreibt die chemische Umsetzung der Matrix ausgedienter Brennelemente durch Lösungen.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Beeinflussung der Radionuklidmobilisierung B) Beeinflussung des geochemischen Milieus</p>	Ja.
<p>Erläuterungen: Die Korrosion der Brennstoffmatrix ist generell ungünstig, da Radionuklide freigesetzt werden. Der Prozess läuft bei Anwesenheit von Lösung ab, das Ausmaß hängt von deren Menge und Zusammensetzung ab. Einschränkende Maßnahmen in der Betriebsphase umfassen die Verpackung der Brennelemente in intakte Behälter (vgl. FEP 27 <i>Brennelement-Behälter</i>) und die Begrenzung von Lösungsmengen (vgl. FEP 53 <i>Lösungen im Grubenbau</i>).</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
66	P	Korrosion von Glas	<p>Der Prozess beschreibt die chemische und radiolytische Zersetzung und Umwandlung der Borosilikatglasmatrix von Kokillen durch Wechselwirkungen mit Wasserdampf, Lösung und Strahlung.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Beeinflussung der Radionuklidmobilisierung B) Beeinflussung des geochemischen Milieus</p>	Ja.
<p>Erläuterungen: Die Korrosion von Glas ist generell ungünstig, da Radionuklide freigesetzt werden. Diese verglasten Gebinde sind bereits hergestellt. Der Prozess läuft u. a. bei Anwesenheit von Lösung ab, das Ausmaß hängt dann von deren Menge und Zusammensetzung ab. Einschränkungende Maßnahmen in der Betriebsphase beschränken sich auf die Verpackung und Abschirmung der Kokillen in intakte(n) Behälter(n) (vgl. FEP 28 Sonstige Endlagerbehälter) und die Begrenzung von Lösungsmengen (vgl. FEP 53 <i>Lösungen im Grubenbau</i>).</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
67	P	Korrosion von Materialien mit Zement- oder Sorelphasen	<p>Die chemische Zersetzung von Materialien mit Zement- oder Sorelphasen durch Lösungen.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Beeinträchtigung der Funktion von Zementkomponenten, u. a. Verschlussbauwerke</p> <p>B) Beeinflussung des geochemischen Milieus.</p>	<p>A) Ja.</p> <p>B) Ja.</p>
<p>Erläuterungen:</p> <p>Zement- und Sorelphasen werden für wärmeentwickelnde Abfälle nicht als Abfallmatrices verwendet.</p> <p>A), B) Rezeptur und Einbau von Bauwerken mit Zement- oder Sorelphasen sollen so ausgewählt bzw. optimiert werden, dass anstehende Lösung möglichst wenig angreifen kann bzw. geringen Einfluss hat. Weitere Maßnahmen in der Betriebsphase sind die Begrenzung von Lösungsmengen (vgl. FEP 53 <i>Lösungen im Grubenbau</i>) und der Einbau von Schutz- oder Opferschichten.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
68	P	Alteration von Tonmineralen	<p>Alteration von Tonmineralen beschreibt die mineralogischen und chemischen Veränderungen durch geänderte chemische und thermische Umgebungsbedingungen. Diese wird auch als Auflösung, Transformation und Neubildung von Tonmineralen bezeichnet.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Beeinträchtigung der Funktion von Buffer, Dichtelementen und Versatz</p> <p>B) Beeinflussung des Wirtsgesteins, insbesondere Tongestein</p>	<p>A) Ja.</p> <p>B) Ja.</p>
<p>Erläuterungen:</p> <p>Der Prozess findet in der Betriebsphase in bereits abgeworfenen Grubenbereichen statt.</p> <p>A) Der Prozess läuft auf jeden Fall ab, da sich chemische und thermische Bedingungen über die Zeit ändern. Eine einschränkende Maßnahme ist eine geeignete Zusammensetzung von Bentonit.</p> <p>B) Mögliche Maßnahmen in der Betriebsphase, wie z. B. Baustoffe und Injektionen, begrenzen über günstige pH-Werte in der Porenlösung die Alteration des Wirtsgesteins, vor allem Tongesteine.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
69	P	Alteration von sonstigen Mineralen	<p>Die Alteration von sonstigen Mineralen beschreibt die mineralogischen und chemischen Veränderungen von Mineralen - mit Ausnahme von Tonmineralen – durch geänderte chemische und thermische Umgebungsbedingungen über die Zeit. Diese wird auch als Auflösung, Transformation und Neubildung von sonstigen Mineralen bezeichnet.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Beeinträchtigung der Funktion von Buffer, Dichtelementen und Versatz.</p> <p>B) Beeinflussung des Wirtsgesteins</p>	<p>A) Ja.</p> <p>B) Ja.</p>
<p>Erläuterungen:</p> <p>Der Prozess findet in der Betriebsphase in bereits abgeworfenen Grubenbereichen statt.</p> <p>A) Der Prozess läuft auf jeden Fall ab, da sich chemische und thermische Bedingungen über die Zeit ändern. Eine einschränkende Maßnahme ist eine geeignete Zusammensetzung der Baumaterialien.</p> <p>B) Mögliche Maßnahmen in der Betriebsphase, wie z. B. Baustoffe und Injektionen, begrenzen über günstige pH-Werte in der Porenlösung die Alteration des Wirtsgesteins.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
70	P	Alteration von Strecken- und Schachtverschlüssen	<p>Die Alteration von Strecken- und Schachtverschlüssen beschreibt die Beeinflussung der mineralischen Baustoffe der Barrieren durch geochemische Umgebungsbedingungen.</p> <p>Konzept: alle</p>	Beeinflussung der Funktion der Verschlüsse	Ja.
<p>Erläuterungen: Der Prozess läuft auf jeden Fall ab, da sich chemische und thermische Bedingungen über die Zeit ändern. Einschränkende Maßnahmen sind langzeitstabile Baumaterialien.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
71	P	Alteration von Versatz	<p>Das FEP beschreibt die Beeinträchtigung der Funktion des Versatzes durch chemische und thermische Einwirkungen.</p> <p>Konzept: alle</p>	Beeinflussung der Funktion des Versatzes	Ja.
<p>Erläuterungen: Der Prozess läuft auf jeden Fall ab, da sich chemische und thermische Bedingungen über die Zeit ändern. Einschränkende Maßnahme sind geeignete arteigene Versatzmaterialien.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
72	P	Materialversprödung durch Wasserstoffaufnahme	<p>Durch das Eindringen von Wasserstoff in das Gefüge bestimmter Materialien (Metalle) wird eine Änderung ihrer mechanischen Eigenschaften verursacht.</p> <p>Konzept: alle</p>	Beeinträchtigung mechanischer Eigenschaften der Endlagerbehälter und Bohrlochliner	Ja.
<p>Erläuterungen: Die Versprödung kann durch Reduzierung der Wasserstoffmenge begrenzt werden. Die Bildung von Wasserstoffgas, z. B. bei Korrosion von Metallen (vgl. FEP 64 Metallkorrosion), kann durch geeignete Behältermaterialien und geringe Lösungsmengen eingeschränkt werden.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
73	P	Materialversprödung durch Strahlung	<p>Durch ionisierende Strahlung werden Materialgefüge beeinträchtigt, so dass es in der Folge zu einer Versprödung der Materialien kommen kann.</p> <p>Konzept: alle</p>	Keine	Keine.
<p>Erläuterungen: im Vergleich zu anderen elektrochemischen Prozessen (Metallkorrosion, Versprödung durch Wasserstoffaufnahme) nicht relevant.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
74	P	Zersetzung von Organika	<p>Dieser FEP umfasst alle Prozesse, die zur chemischen und thermischen Zersetzung von Organika führen.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Funktionseinschränkung von Barrieren mit Asphalt. B) Gasbildung C) Radionuklidfreisetzung durch Abbau organischer Bestandteile D) Beeinflussung des Wirtsgesteins, insbesondere Tongestein E) Beeinflussung des geochemischen Milieus</p>	<p>A) Ja. B) Ja. C) Ja. D) Ja. E) Ja.</p>
<p>Erläuterungen:</p> <p>A), B), C), E) Generell sollen organische Materialien im Endlager begrenzt eingesetzt oder vermieden werden. Einschränkende Maßnahmen in der Betriebsphase sind die Begrenzung von Lösungsmengen (vgl. FEP 53 <i>Lösungen im Grubenbau</i>), und die Verwendung von schwer abbaubaren Organika, wie Polyethylen.</p> <p>D) Maßnahmen in der Betriebsphase, wie geeignete Baustoffe und Injektionen, beschränken die Degradation der Organika im Wirtsgestein.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
75	P	Mikrobielle Prozesse im Grubengebäude	<p>Dieses FEP umfasst die Gesamtheit der durch Mikroorganismen verursachten Prozesse im Grubengebäude und in der ALZ.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Funktionseinschränkung von Barrieren (Behälter, Verschlüsse).</p> <p>B) Gasbildung</p> <p>C) Beeinflussung des Wirtsgesteins, insbesondere Tongestein</p> <p>D) Beeinflussung des geochemischen Milieus</p> <p>E) Transport von Radionukliden durch Mikroben</p>	<p>A) Ja.</p> <p>B) Ja.</p> <p>C) Ja.</p> <p>D) Ja.</p> <p>E) Ja.</p>
<p>Erläuterungen:</p> <p>A), B) D), E) Die Reduzierung mikrobieller Aktivitäten im Endlager ist generell schwierig. Hohe Salinitäten, Wasserstoffaktivitäten, Reduktion der Hohlraumvolumina und hohe Temperaturen (> 100°C) schränken die Aktivitäten allerdings stark ein.</p> <p>C) Maßnahmen in der Betriebsphase, wie geeignete Baustoffe und Injektionen, beschränken die mikrobielle Aktivität.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
76	P	Wärmeproduktion	<p>Im FEP werden nicht klimatische Phänomene zusammengefasst, die die Entwicklung der Temperatur im Endlager beeinflussen.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>Temperaturänderungen aufgrund der Wärmeproduktion</p> <p>A) bedingen thermomechanische Spannungen.</p> <p>B) beeinflussen chemische Prozesse.</p>	<p>A) Ja.</p> <p>B) Ja.</p>
<p>Erläuterungen:</p> <p>A), B) Die Wärmeproduktion ist ein wesentlicher Prozess in einem Endlager mit wärmeentwickelnden Abfällen und wird von der Dauer der Zwischenlagerung bestimmt. Die Behälterbeladung und räumliche Verteilung der Wärmequellen sind Gegenstand des technischen Endlagerkonzepts und beeinflussen die Temperaturverteilung und die Maximaltemperatur.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
77	P	Wärmestrom	<p>Der Wärmestrom ist eine Folge der Temperaturgradienten im Endlager. Der geothermische Wärmestrom wird beeinflusst durch Wärme aus den Abfällen und Klimaänderungen.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>Temperaturänderungen aufgrund des Wärmestroms</p> <p>A) bedingen thermomechanische Spannungen.</p> <p>B) beeinflussen chemische Prozesse.</p>	<p>A) Ja.</p> <p>B) Ja.</p>
<p>Erläuterungen: Der Wärmestrom basiert auf der Wärmeproduktion in einem Endlager mit wärmeentwickelnden Abfällen, siehe FEP 77 <i>Wärmeproduktion</i>.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
78	P	Thermische Expansion oder Kontraktion	<p>Thermische Expansion bzw. Kontraktion beschreibt die Volumenzunahme bzw. -abnahme eines Stoffes durch eine Veränderung der Temperatur.</p> <p>Konzept: alle</p>	Spannungsänderungen	Ja.
<p>Erläuterungen: Temperaturänderungen als Folge zeitlich abklingender Wärmeproduktion der Abfälle und sich ändernder Klimaeinflüsse sind unvermeidlich. Spannungsänderungen sind generell ungünstig. Der Einfluss der Wärme kann begrenzt werden, indem Temperaturgradienten klein gehalten werden, z. B. durch Minimierung der Maximaltemperatur und großflächige Verteilung der Abfälle im Grubengebäude. Klimaänderungen und können durch Maßnahmen in der Betriebsphase nicht beeinflusst werden.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
79	P	Verdampfen von Wasser	<p>Das Verdampfen von Wasser beschreibt den Phasenübergang des Wassers vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Beeinflussung der Korrosion im Einlagerungsbereich B) Beeinflussung des Transports von Radionukliden</p>	<p>A) Ja. B) Ja.</p>
<p>Erläuterungen: In Salzgesteinen werden Grubenbaue in möglichst trockenen Bereichen des Wirtsgesteins aufgeföhren und der Prozess spielt dadurch eine untergeordnete Rolle. In Ton- und Kristallingesteinen wird die Durchschnittstemperatur möglichst stabil gehalten und die Maximaltemperatur begrenzt.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
80	P	Wärmebedingte Hebung oder Senkung des Deckgebirges	<p>Durch Zerfall der Radionuklide in den Abfällen entsteht Wärme, die eine Ausdehnung des Wirtsgesteins verursacht. Dadurch erfährt das Deckgebirge zunächst eine Hebung und nach Abklingen der Wärmeentwicklung aufgrund der Kontraktion des Wirtsgesteins eine Senkung.</p> <p>Konzept: alle</p>	Beeinflussung der hydraulischen Eigenschaften des Deckgebirges	Ja.
<p>Erläuterungen: Durch Design und Auslegung des Endlagers – vor allem die Verteilung der Endlagergebäude – lässt sich der spezifische Wärmeeintrag in das Wirtsgestein begünstigen.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
81	P	Thermomigration	<p>Thermomigration bezeichnet den durch das Wärmefeld des Endlagers bedingte Migration von Lösungen im Salzgestein.</p> <p>Konzept: Salz (alle)</p>	Lösungsbewegungen	Ja.
<p>Erläuterungen: Der Prozess wird durch Temperaturgradienten als Folge der abklingenden Wärmeproduktion der Abfälle verursacht und ist unvermeidlich. Der Einfluss der Wärme aus den Abfällen kann begrenzt werden, indem Temperaturgradienten verringert werden, z. B. durch Minimierung der Maximaltemperatur und eine großflächige Verteilung der Abfälle im Grubengebäude.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
82	P	Thermische Carnallit-zersetzung	<p>Carnallit enthält Kristallwasser (40 Gew.-%), das mit zunehmender Temperatur über verschiedene Hydratationsstufen abgegeben wird.</p> <p>Konzept: Salz (alle)</p>	Freisetzung von Kristallwasser erhöht die Lösungsmenge	Ja.
<p>Erläuterungen: Carnallit im anstehenden Salzgestein kann bei der Auffahrung des Bergwerks detektiert werden. Die Kalisalze können mit einem Sicherheitspfeiler umfahren und Konturen versiegelt oder mit Versatz abgedeckt werden.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
83	P	Thermo-chemische Sulfatreduktion	<p>Redoxreaktion(en) von organischen Verbindungen oder molekularem Wasserstoff mit Sulfaten bei erhöhten Temperaturen unter Bildung von Carbonaten, Sulfiden, Wasser, Schwefelwasserstoff oder CO₂.</p> <p>Konzept: alle</p>	Beeinflussung des geochemischen Milieus	Ja.
<p>Erläuterungen: Der Prozess erfordert eine bestimmte, relativ hohe Temperatur. Die Auslegung des Endlagers kann die Temperatur unter den kritischen Wert begrenzen; dies ist wegen des geringen Einflusses des Prozesses auf die Langzeitsicherheit aber nicht notwendig.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
84	P	Deflagration und Detonation	<p>Das FEP beschreibt das Entzünden bzw. Explodieren von Gasgemischen. Ein zündfähiges Gasgemisch liegt vor, wenn Volumenverhältnisse des Gasgemisches innerhalb bestimmter Grenzen (Zünd- bzw. Explosionsgrenzen) liegen, die prinzipiell eine Verbrennung zulassen. Wird die Zündenergie des Gasgemisches überschritten, kommt es zu einer Verbrennung; je nach Verbrennungsgeschwindigkeit wird von Deflagration oder Detonation gesprochen.</p> <p>Konzept: alle</p>	Thermomechanische Belastung des Endlagersystems	Ja.
<p>Erläuterungen: Mögliche Maßnahmen zur Vermeidung sind bspw.: Begrenzung der Lösungsmengen (vgl. FEP 53 <i>Lösungen im Grubenbau</i>) und Luftfeuchte zur Begrenzung der Wasserstoffbildung durch Metallkorrosion, Verfüllung von Hohlräumen mit Versatzmaterialien von geringer Porosität als Flammensperre und Vermeidung von Zündquellen. Standorterkundung schränkt den Zutritt von Kohlenwasserstoffen aus dem Wirtsgestein ein (vgl. FEP 95 <i>Kohlenwasserstoffvorkommen im Wirtsgestein</i>).</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
85	P	Strahlungsinduzierte Aktivierung	<p>Als strahlungsinduzierte Aktivierung wird die Bildung von radioaktiven Isotopen durch Kernreaktionen nach Absorption von Neutronen bezeichnet.</p> <p>Konzept: alle</p>	Veränderung der Eigenschaften von Behältern und Matrices	Ja.
<p>Erläuterungen: Einschränkende Maßnahmen sind geeignete Behälter-, Moderator- und Matrixmaterialien.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
86	P	Radiolyse	<p>Radiolyse beschreibt die Veränderungen chemischer Verbindungen durch die Einwirkung ionisierender Strahlung, z.B. Dissoziation von Molekülen, Bildung von Radikalen oder Zersetzung von Kohlenwasserstoffen.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Gasbildung B) Beeinflussung des geochemischen Milieus C) Beeinflussung des Wirtsgesteins D) Beeinflussung der technischen Barrieren</p>	<p>A) Ja. B) Ja. C) Ja. D) Keine.</p>
<p>Erläuterungen:</p> <p>A) Gasbildung durch Radiolyse kann z. B. durch Begrenzung der Lösungsmenge im Umfeld der radioaktiven Substanzen beeinflusst werden, siehe FEP 53 <i>Lösungen im Grubenbau</i>.</p> <p>B) reduzierte Auswirkung der α-Radiolyse durch Einschluss der Radionuklide im Behälter, siehe FEP 27 <i>Brennelement-Behälter</i>, FEP 28 <i>Sonstige Endlagerbehälter</i>, FEP 25 <i>Abfallmatrix</i></p> <p>C) reduzierte Auswirkung der γ-Radiolyse auf das Wirtsgestein durch geeignete Verfüll- und Versatzmaterialien (mit Abschirmwirkung), siehe FEP 38 <i>Buffer</i>.</p> <p>D) Auswirkung der γ-Radiolyse auf technische Barrieren im Nahfeld kann kaum reduziert werden.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
87	Z	Kritikalität	<p>Kritikalität beschreibt einen Zustand, bei dem spaltbares Material in einer Anordnung vorliegt, die eine sich selbst erhaltende Kettenreaktion ermöglicht (Kernspaltung) – d. h., die Neutronenproduktionsrate ist gleich oder größer als die Neutronenverlustrate. Der Zustand könnte eintreten, wenn eine Mindestmenge spaltbarer Stoffe in geeigneter räumlicher Anordnung vorliegt und andere Einflussgrößen (z. B. Moderationsverhältnisse) gegeben sind.</p> <p>Konzept: alle</p>	Ja.	Ja.
<p>Erläuterungen: Der Nachweis der Einhaltung von unterkritischen Zuständen ist vor der Einlagerung der Abfallgebinde zu führen. Es sind entsprechende Maßnahmen vorzusehen, z. B. Endlagerdesign oder die Beladung und Verfüllung von Behältern.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
88	P	Konvergenz	<p>Konvergenz beschreibt die Querschnittsverkleinerung von untertägigen Hohlräumen, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung im umgebenden Gebirge einsetzt.</p> <p>Konzept: alle (tritt überall auf, aber nur für Salz, Ton und üewG relevant)</p>	<p>A) Einspannung von Barrieren B) Schließen von Auflockerungszonen und Resthohlräumen C) Auslösen von Lösungsbewegungen (in Salz und Ton)</p>	<p>A) Ja. B) Ja. C) Ja.</p>
<p>Erläuterungen: A), B) Hohe Konvergenzraten beschleunigen und verstärken diese einschlußwirksamen Prozesse C) Verfüll- und Verschlussmaßnahmen verhindern Lösungsbewegungen</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
89	P	Spannungsänderungen und Spannungsumlagerungen	<p>Spannungsänderungen beschreiben eine Erhöhung oder Erniedrigung des Beanspruchungszustands in einem Gebirgs- oder Tragwerksbereich ohne irreversible Deformationen. Spannungsumlagerungen hingegen sind Spannungsausgleichsprozesse begleitet von irreversiblen Deformationen zwischen unterschiedlich beanspruchten Tragwerksbereichen mit einem daraus folgenden Spannungsabbau in hoch beanspruchten Bereichen und einer gleichzeitigen Erhöhung der Spannung in weniger beanspruchten Bereichen des Tragsystems.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) mechanische und hydraulische Lasten für die Langzeitstabilität technischer Komponenten</p> <p>B) Einwirkungen auf das Wirtsgestein</p> <p>C) Beeinflussung von Lösungsbewegungen und Stofftransport aufgrund von Fluiddruckänderung</p> <p>D) Beeinflussung der Konvergenz.</p>	<p>A) Ja. B) Ja. C) Ja. D) Ja.</p>
<p>Erläuterungen:</p> <p>A) Auslegung der sicherheitsrelevanten technischen Komponenten gegen die zu erwartenden Lasten</p> <p>B) Versatzmaßnahmen und Streckenausbau zur Stabilisierung und Stützung des Wirtsgesteins</p> <p>C) Minimierung von Fluiddruckänderungen und -differenzen durch druckentlastende Maßnahmen, die relevante Ströme begrenzen werden.</p> <p>D) Konvergenz soll prognostizierbar bleiben, d. h. Spannungsänderungen begrenzt bleiben.</p> <p>Das Auffahren von großen Hohlräumen soll vermieden werden, um Verformungen einzuschränken. Auch die Art und Weise des Auffahrens kann die Spannungsänderungen in einem Grubenbereich begrenzen.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
90	P	Versatzkompaktion	<p>Das FEP beschreibt die Verdichtung des eingebrachten Versatzmaterials durch gravitative Kräfte und durch die Konvergenz.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Beeinflussung der mechanischen Eigenschaften von Versatz (Stützwirkung).</p> <p>B) Beeinflussung der hydraulischen Eigenschaften von Versatz (Reduktion des Porenraumes, Abnahme der Permeabilität)</p>	<p>A) Ja.</p> <p>B) Ja.</p>
<p>Erläuterungen:</p> <p>A), B) Versatzkompaktion erlangt die positiven Auswirkungen bzw. reduziert die negativen Auswirkungen (abhängig vom Endlagerkonzept), wenn u. a. folgende Maßnahmen in der Betriebsphase technisch realisiert werden: Vollverfüllung, geeignete Versatzmaterialien; optimales Verfahren zum Einbringen des Versatzes</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
91	P	Abschalungen	<p>Abschalungen entstehen aufgrund von Spannungumlagerungen in der Geosphäre durch Verformungen mit Rissbildung, die zu einem Abblättern oder Herausbrechen von Gebirge an der Grubenraumkontur führen.</p> <p>Konzept: alle</p>	Beeinflussung der hydraulischen und mechanischen Eigenschaften der Grubenbereiche und des Gebirges.	Ja.
<p>Erläuterungen: Verfüllung und Ausbau offener Hohlräume mit geeigneten Materialien werden den Prozess stark einschränken.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
92	P	Hebung und Absinken von Endlagerbehältern	<p>Der FEP beschreibt Prozesse, bei denen sich die Lageposition der Abfallbehälter mit den Radionukliden im Vergleich zur Einlagerungsposition verändert.</p> <p>Konzept: Salz (alle)</p>	Keine.	Keine.
<p>Erläuterungen: Der Prozess findet nur in geringem Maße im Salzgestein statt und hat keine Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
93	Z	Wirtsgestein	<p>Als Wirtsgestein wird der Teil einer Gesteinsfolge bezeichnet, in der radioaktive Abfälle eingelagert werden.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Einschluss der Radionuklide B) Potenzielle Wegsamkeiten C) Beeinflussung des Radionuklidtransports D) Mechanische Stabilisierung (geo)technischer Barrieren E) Beeinflussung des geochemischen Milieus.</p>	<p>A) Ja B) Ja C) Ja D) Ja E) Ja</p>
<p>Erläuterungen:</p> <p>A), B), D) Durch die Auffahrung des Grubengebäudes wird der Spannungszustand des Wirtsgesteins gestört; gebirgsschonende Auffahrung kann diesen Einfluss reduzieren. Verfüllungen und Ausbau der Grubenbereiche werden das Wirtsgestein nach der Auffahrung stabilisieren, siehe FEP 89 <i>Spannungsänderungen und Spannungsumlagerungen</i>.</p> <p>B), C), E) Injektionen sind technische Maßnahmen, die chemische und hydraulische Eigenschaften des Wirtsgesteins verbessern und das Milieu günstig beeinflussen können.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
94	Z	Störungen und Klüfte im Wirtsgestein	<p>Klüfte sind makroskopisch sichtbare Trennfugen im Gestein, die keine oder nur geringe Dislokationen an den Trennflächen aufweisen.</p> <p>Diese sind zu unterscheiden von Störungen, die durch eine deutliche Dislokation der an eine Störungszone angrenzenden Gesteine gekennzeichnet sind.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Potenzielle Wegsamkeiten für Lösungszutritt bzw. -freisetzung</p> <p>B) Verringerung der mechanischen Stabilität</p>	<p>A) Ja.</p> <p>B) Ja.</p>
<p>Erläuterungen:</p> <p>Störungen und Klüfte mit ihren mechanischen und hydraulischen Eigenschaften können die Langzeitsicherheit beeinflussen. Einlagebereiche sind so zu wählen, dass ein ausreichender Abstand zu Störungen eingehalten wird.</p> <p>A), B) In der Betriebsphase werden Klüfte und Störungen bei der Auffahrung detektiert und bewertet. Störungen können durch Verfüllungen, Injektionen oder Ausbau abgedichtet werden. Im Kristallin sind Verschlüsse im Bereich von Störungszonen vorgesehen.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
95	Z	Kohlenwasserstoffvorkommen im Wirtsgestein	<p>Als Kohlenwasserstoffe wird eine Stoffgruppe bezeichnet, die aus natürlichen organischen Verbindungen besteht, deren molekulare Strukturen (C_mH_n) sich überwiegend aus Kohlenstoff und Wasserstoff zusammensetzen. Kohlenwasserstoffe sind Teil des natürlichen Stoffbestandes von Wirtsgesteinen, vor allem Salzgesteinen.</p> <p>Konzept: Ton (alle); Salz (alle)</p>	<p>A) Potenziell zündfähiges Gas B) Beeinflussung des geochemischen Milieus C) Beeinflussung mechanischer und hydraulischer Eigenschaften. D) Transportmedium für Radionuklide</p>	<p>A) Ja. B) Ja. C) Ja. D) Ja.</p>
<p>Erläuterungen: A) bis D) In der Nachverschlussphase soll vermieden werden, dass Kohlenwasserstoffe ins Grubengebäude austreten. Bei der Auffahrung und während des Betriebs werden Kohlenwasserstoffvorkommen erkundet, detektiert und dokumentiert, erkundete Reservoirs entleert oder weiträumig umfahren (Änderung des Grubenlayouts).</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
96	Z	Lösungen im Wirtsgestein	<p>Lösungen im Wirtsgestein sind wässrige Lösungen, die sich aus Poren- oder Kluftwasser des Wirtsgesteins zusammensetzen. Das FEP beschreibt chemisch-physikalische Eigenschaften (pH, Eh, Viskosität usw.) und die Menge der gelösten Stoffe.</p> <p>Flüssige Kohlenwasserstoffe gehören nicht dazu, siehe FEP 95.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Transportmedium im Wirtsgestein</p> <p>B) Beeinflussung von Korrosion und Alteration</p> <p>C) Fluiddruck</p>	<p>A) Ja</p> <p>B) Ja</p> <p>C) Ja</p>
<p>Erläuterungen:</p> <p>A) bis C) In der Nachverschlussphase soll vermieden werden, dass Lösungen in das Grubengebäude zutreten, siehe FEP 53 <i>Lösungen im Grubenbau</i>. Bei der Auffahrung und während des Betriebs werden Lösungsvorkommen erkundet, detektiert und dokumentiert, erkundete Reservoire entleert oder weiträumig umfahren (Sicherheitspfeiler, Änderung des Grubenlayouts).</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
97	Z	Gase im Wirtsgestein	<p>Das FEP beschreibt die im Wirtsgestein vorkommenden Mengen und Zusammensetzungen an Gasen. Gasförmige Kohlenwasserstoffe gehören nicht dazu, siehe FEP 95.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Transportmedium im Wirtsgestein B) Fluiddruck</p>	<p>A) Ja B) Ja</p>
<p>Erläuterungen: A), B) In der Nachverschlussphase soll vermieden werden, dass Gase in das Grubengebäude austreten, siehe FEP 54 <i>Gase im Grubenbau</i>. Bei der Auffahrung und während des Betriebs werden Gasvorkommen detektiert und dokumentiert, erkundete Reservoirs entleert oder weiträumig umfahren (Sicherheitspfeiler, Änderung des Grubenlayouts).</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
98	P	Druckgetriebene Infiltration von Fluiden in das Wirtsgestein	<p>Bei Fluidrücken mit Überschreitung der kleinsten Hauptspannung im Gebirge kann es zu einer Erhöhung der lokalen Permeabilität des Wirtsgesteins durch die lokale Aufweitung der Korngrenzen kommen, so dass Fluide in die betroffenen Bereiche infiltrieren können.</p> <p>Konzept: Salz (alle), Ton (alle)</p>	<p>A) Beeinflussung der mechanischen und hydraulischen Eigenschaften des Wirtsgesteins B) Beeinflussung des Radionuklidtransports</p>	<p>A) Ja. B) Ja.</p>
<p>Erläuterungen: A), B) Maßnahmen zur Reduzierung des Gasdruckaufbaus nach der Betriebsphase sind z. B. die Bereitstellung von Speichervolumen für Fluide und die Reduzierung der Menge an gasbildenden Stoffen, siehe FEP 54 <i>Gase im Grubenbau</i>.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
99	P	Strömungsvorgänge im Wirtsgestein	<p>Der FEP beschreibt die Bewegung von Fluiden im Wirtsgestein als Folge von Potenzialunterschieden.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Transportprozess für Radionuklide</p> <p>B) Änderung des Fluiddrucks</p>	<p>A) Ja</p> <p>B) Ja</p>
<p>Erläuterungen:</p> <p>A), B) Großräumige Strömungsvorgänge im Wirtsgestein sind durch Maßnahmen in der Betriebsphase nicht beeinflussbar. Konturnahe Strömungsvorgänge im Wirtsgestein sind aber durch Injektionen von Klüften oder Störungszonen beeinflussbar.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
100	P	Gas-Fracs im Wirtsgestein	<p>Das FEP beschreibt durch Überschreitung der mechanischen Zugfestigkeit entstandene, pneumatische Risse (Fracs) im Wirtsgestein.</p> <p>Konzept: Ton (alle)</p>	<p>A) Beeinflussung der mechanischen und hydraulischen Eigenschaften des Wirtsgesteins</p> <p>B) Beeinflussung des Radionuklidtransports</p>	<p>A) Ja.</p> <p>B) Ja.</p>
<p>Erläuterungen:</p> <p>A), B) Maßnahmen zur Reduzierung des Gasdruckaufbaus nach der Betriebsphase sind z. B. die Bereitstellung von Speichervolumen für Fluide und die Reduzierung der Menge an gasbildenden Stoffen, siehe FEP 54 <i>Gase im Grubenbau</i>.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
101	P	Mikrobielle Prozesse im Wirtsgestein	<p>Das FEP umfasst die Gesamtheit der durch Mikroorganismen verursachten Prozesse im Wirtsgestein.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Gasbildung</p> <p>B) Beeinflussung des Wirtsgesteins, vor allem in Ton</p> <p>C) Beeinflussung des geochemischen Milieus, u. a. Komplexbildung</p> <p>D) Transport von Radionukliden durch Mikroben</p>	<p>A) Keine.</p> <p>B) Keine.</p> <p>C) Keine.</p> <p>D) Keine.</p>
<p>Erläuterungen:</p> <p>A) bis D) Die Reduzierung der mikrobiellen Aktivität im Wirtsgestein ist kaum durchführbar. Hohe Salinitäten, Wasserstoffaktivitäten und hohe Temperaturen (> 100°C) schränken die Aktivität ein.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
102	Z	Deck- und Nebengebirge	<p>Das FEP umfasst Eigenschaften des Deck- und Nebengebirges, wie Aufbau, Zusammensetzung, Festigkeit und Dichte der Schichten, die Geohydraulik und die Grundwasserverhältnisse.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Potenzielle Wegsamkeiten B) Beeinflussung des Radionuklidtransports C) Beeinflussung des geochemischen Milieus D) Schutz des Wirtsgesteins</p>	<p>A) Keine. B) Keine. C) Keine. D) Keine.</p>
<p>Erläuterungen: In der Nachverschlussphase wirkt das Deckgebirge als Schutz vor geologischen Prozessen, wie z. B. Erosion. Das Deck- und Nebengebirge lässt sich durch Maßnahmen in der Betriebsphase nicht beeinflussen (außer durch die Standortauswahl).</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
103	Z	Störungen und Störungszonen im Deck- und Nebengebirge	<p>Unter einer Störung wird eine Trennfuge im Gebirge verstanden, an der ein Versatz der angrenzenden Gesteinspakete auftritt. Versatzbeträge entlang von Störungen können im Bereich von Zentimetern bis Metern liegen. Ein räumlich ausgedehnter Bereich, in dem mehrere Störungen als Begleit- oder Parallelstörungen vorkommen, ist eine Störungszone.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Potenzielle Wegsamkeiten für Lösungszutritt bzw. -freisetzung B) Beeinflussung der mechanischen Stabilität (Schacht- und Rampenbereich)</p>	<p>A) Ja. B) Ja.</p>
<p>Erläuterungen: A), B) Störungen und Störungszonen im Deck- und Nebengebirge können nur im nahen Umfeld der Schächte und Rampen durch Injektionen und Ausbau im Grubengebäude abgedichtet und dadurch auch die Stabilität dieses Gebirgsbereiches verbessert werden.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
104	Z	Lösungen im Deck- und Nebengebirge	<p>Lösungen im Nebengebirge sind wässrige Lösungen, die sich aus freiem Porenwasser des Deck- und Nebengebirges zusammensetzen. Das FEP beschreibt chemisch-physikalische Eigenschaften (pH, Eh, Viskosität usw.) und die Menge der gelösten Stoffe.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Transportmedium für Radionuklide B) Beeinflussung von Korrosion und Alteration C) Fluiddruck</p>	<p>A) Ja. B) Ja. C) Keine.</p>
<p>Erläuterungen: Lösungen und Grundwasser im Deck- und Nebengebirge sind Ausbreitungsmedien für Radionuklide. Lösungen im Deck- und Nebengebirge können nicht durch Maßnahmen in der Betriebsphase beeinflusst werden.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
105	Z	Gase im Deck- und Nebengebirge	<p>Das FEP beschreibt die im Deck- und Nebengebirge vorkommenden Mengen und Zusammensetzungen an Gasen.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Transportmedium für Radionuklide B) Fluiddruck</p>	<p>A) Keine. B) Keine.</p>
<p>Erläuterungen: Gase im Deck- und Nebengebirge sind Ausbreitungsmedien für Radionuklide. Gase im Deck- und Nebengebirge können nicht durch Maßnahmen in der Betriebsphase beeinflusst werden.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
106	P	Mikrobielle Prozesse im Deck- und Nebengebirge	<p>Das FEP umfasst die Gesamtheit der durch Mikroben verursachten Prozesse im Deck- und Nebengebirge außerhalb des Grubengebäudes.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Gasbildung</p> <p>B) Beeinflussung der Eigenschaften im Deck- und Nebengebirge</p> <p>C) Beeinflussung des geochemischen Milieus</p> <p>D) Transport von Radionukliden durch Mikroben</p>	<p>A) Keine.</p> <p>B) Keine.</p> <p>C) Keine.</p> <p>D) Keine.</p>
<p>Erläuterungen: Mikrobielle Prozesse im Deck- und Nebengebirge können durch Maßnahmen in der Betriebsphase nicht beeinflusst werden.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
107	P	Grundwasserströmung im Deck- und Nebengebirge	<p>Das FEP beschreibt die Bewegung des Grundwassers im Deck- und Nebengebirge infolge Schwerkraft. Das Grundwasser bewegt sich von höheren zu niedrigeren Potenzialen.</p> <p>Konzept: alle</p>	Beeinflussung des Radionuklidtransports in der Lösungsphase	Ja.
<p>Erläuterungen: Großräumige Strömungsvorgänge im Deck- und Nebengebirge sind durch Maßnahmen in der Betriebsphase nicht beeinflussbar. Konturnahe Strömungsvorgänge im nahen Umfeld der Schächte und Rampen können durch Injektionen von Klüften und/oder Störungszonen bzw. dem Porenraum der Gesteine beeinflusst werden.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
108	P	Gasströmung im Deck- und Nebengebirge	<p>Das FEP beschreibt die Ausbreitung von Gasen im Deck- und Nebengebirge.</p> <p>Konzept: alle</p>	Beeinflussung des Radionuklid-transportes in der Gasphase	Ja.
<p>Erläuterungen: Großräumige Strömungsvorgänge im Deck- und Nebengebirge sind durch Maßnahmen in der Betriebsphase nicht beeinflussbar. Konturnahe Strömungsvorgänge im nahen Umfeld der Schächte und Rampen können durch Injektionen von Klüften und/oder Störungszonen bzw. dem Porenraum der Gesteine beeinflusst werden.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
109	Z	Topografie	<p>Als Topografie wird die Beschreibung der Ausgestaltung der Erdoberfläche verstanden. Die Oberflächengestaltung entsteht durch das Zusammenwirken von endogenen und exogenen Kräften, die maximal bis zur ersten Kaltzeit prognostizierbar ist.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Erosion und Sedimentation B) Beeinflussung der Grundwasserströmung</p>	<p>A) Keine. B) Keine.</p>
<p>Erläuterungen: Der Zustand kann durch Maßnahmen in der Betriebsphase nicht beeinflusst werden.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
110	Z	Oberflächengewässer	<p>Oberflächengewässer sind an der Landoberfläche frei anstehende Wassermengen, wie beispielsweise Seen oder Flüsse.</p> <p>Konzept: alle</p>	Potenzielle Wegsamkeiten für den Radionuklidtransport	Keine.
<p>Erläuterungen: Die Lage der Oberflächengewässer kann über einen langen Zeitraum (von einer Million Jahre) nicht beeinflusst werden.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
111	P	Radioaktiver Zerfall	<p>Unter radioaktivem Zerfall versteht man die spontane, d. h. die spontan verlaufende Umwandlung instabiler Atomkerne bei Abgabe einer charakteristischen ionisierenden Strahlung.</p> <p>Konzept: alle</p>	<p>A) Veränderungen des Inventars an Radionukliden B) Radiolyse C) Wärmeproduktion D) Strahlungsinduzierte Aktivierung</p>	<p>A) Keine. B) Ja C) Ja D) Ja</p>
<p>Erläuterungen:</p> <p>Der radioaktive Zerfall kann durch Maßnahmen in der Betriebsphase nicht beeinflusst werden. Allenfalls sind Überlegungen zur längeren Zwischenlagerung oder zur Transmutation von Relevanz, um die Menge und Zusammensetzung des eingelagerten Radionuklidinventars zu verringern.</p> <p>A) Der radioaktive Zerfall bedingt das Zerfallen und das Aufbauen von Radionukliden (Isotopen) und ermöglicht Phasenübergänge. Dies ist unvermeidlich.</p> <p>B) siehe FEP 86 <i>Radiolyse</i></p> <p>C) siehe FEP 76 <i>Wärmeproduktion</i></p> <p>D) siehe FEP 85 <i>Strahlungsinduzierte Aktivierung</i></p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
112	P	Radionuklid-mobilisierung	<p>Mobilisierung von Radionukliden beschreibt den Übergang von Radionukliden aus dem Abfall in eine transportfähige Phase, wie Flüssigkeit und Gas. Der mit dieser Mobilisierung verknüpfte Quellterm beschreibt die für den Transport verfügbaren Radionuklide zeitlich und räumlich.</p> <p>Konzept: alle</p>	Beeinflussung des Radionuklid-transportes	Ja.
<p>Erläuterungen:</p> <p>In der Nachverschlussphase ist eine langsame oder keine Mobilisierung generell günstig, da die eingelagerten Inventare mit der Zeit durch den radioaktiven Zerfall abnehmen. Diese Mobilisierung ist mit dem Versagen der Behälter und der Korrosion von Abfallmatrices verknüpft, siehe FEP 45 <i>Versagen eines Brennelement-Behälters</i>, FEP 46 <i>Ausfall eines sonstigen Endlagerbehälters</i>, FEP 64 <i>Metallkorrosion</i>, FEP 65 <i>Korrosion der Brennstoffmatrix</i>, FEP 66 <i>Korrosion von Glas</i>. Es steht außerdem mit dem Lösungskontakt der Abfälle im Zusammenhang, wobei Lösungsmengen durch Maßnahmen während der Betriebsphase begrenzt werden können, siehe FEP 53 <i>Lösungen im Grubenbau</i>.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
113	P	Sorption und Desorption	<p>Feststoffe können Fremdmoleküle aus der Umgebung aufnehmen, der Prozess wird als Sorption bezeichnet. Der aufzunehmende Stoff (Sorptiv) kann in das Innere des Feststoffs (Sorbens) eindringen oder sich an der Grenzfläche anlagern. Der Umkehrprozess wird Desorption genannt.</p> <p>Konzept: alle</p>	Beeinflussung des Radionuklid-transportes	Ja.
<p>Erläuterungen: Der Prozess hängt vom chemischen Milieu ab, das durch eingebaute Materialien und Lösungen beeinflusst wird. Die eingebauten Materialien können Sorptive bilden.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
114	P	Kolloidbildung, Kolloidtransport, Kolloidfiltration	<p>Kolloide sind Teilchen mit einer Abmessung zwischen 0,001 und 1 µm. Mobilisierung eines Kolloids in Lösung wird als Kolloidbildung und seine Bewegung in Lösung als Kolloidtransport bezeichnet. Aufgrund von Wechselwirkungen mit Poren kann eine Oberflächenanreicherung durch Filtration der Kolloide erfolgen.</p> <p>Konzept: alle</p>	Beeinflussung des Radionuklidtransports	Ja.
<p>Erläuterungen: Kolloide können den advektiven Transport beschleunigen. Wenn Kolloide gefiltert und zurückgehalten werden, kann sich die transportierte Radionuklidmenge verringern. Es ist generell günstig, die Anzahl der Kolloide zu begrenzen, z.B. durch geeignete Verfüll- und Verschlussmaterialien und -maßnahmen.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
115	P	Komplexbildung	<p>Komplexverbindungen bestehen aus einem Zentralatom und mehreren Liganden. Liganden können Moleküle oder Ionen sein. Durch die Komplexbildung verlieren Komplexbausteine ihre spezifischen Eigenschaften.</p> <p>Konzept: alle</p>	Beeinflussung des Radionuklidtransports	Ja.
<p>Erläuterungen: Komplexe erhöhen in der Regel die Löslichkeit und damit die Mengen transportierbarer Radionuklide. Es ist generell anzustreben, die Anzahl der Komplexbildner zu begrenzen. Während in abgebrannten Brennelementen und Abfällen aus der Wiederaufarbeitung wenig Komplexbildner vorliegen, können andere Abfälle signifikante Mengen an Komplexbildnern (z. B. EDTA) enthalten. Durch geeignete Materialien (Versatz, Baustoffe, Ausbau) ist eine günstige Beeinflussung in begrenztem Umfang möglich. Komplexbildner in der Geo- und Biosphäre sind durch Maßnahmen in der Betriebsphase nicht zu beeinflussen.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
116	P	Radionuklidtransport in der flüssigen Phase	<p>Dieses FEP umfasst alle Ausbreitungsarten von Radionukliden in einem flüssigen Transportmedium.</p> <p>Konzept: alle</p>	Beeinflussung des Radionuklidtransports	Ja.
<p>Erläuterungen: Verfüll- und Verschlussmaßnahmen in der Betriebsphase, die den Übergang von Radionukliden in das Transportmedium und die Strömung des Transportmediums einschränken bzw. verhindern.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
117	P	Radionuklidtransport in der Gasphase	<p>Dieses FEP umfasst alle Ausbreitungsarten von Radionukliden in einem gasförmigen Transportmedium.</p> <p>Konzept: alle</p>	Beeinflussung des Radionuklidtransports	Ja.
<p>Erläuterungen: Verfüll- und Verschlussmaßnahmen in der Betriebsphase, die den Übergang von Radionukliden in das Transportmedium und die Strömung des Transportmediums einschränken bzw. verhindern.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
118	P	Advektion	<p>Advektion bezeichnet den Transport von gelösten Stoffen mit der Strömung des Transportmediums Wasser oder Gas.</p> <p>Konzept: alle</p>	Beeinflussung des Radionuklidtransports	Ja.
<p>Erläuterungen: Den advectiven Transport zu verringern, ist generell günstig für die Entwicklung in der Nachverschlussphase. Verfüll- und Verschlussmaßnahmen in der Betriebsphase, die Druckgradienten oder Fluidbewegungen verringern, sind diesbezüglich positiv zu bewerten.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
119	P	Mechanische Dispersion	<p>Als mechanische Dispersion wird die Aufweitung von Schadstoffverteilungen, die in einem Fluid gelöst vorliegen, durch ungleichförmige Geschwindigkeitsprofile und unterschiedliche Weglängen in den Hohlräumen eines porösen Mediums bezeichnet.</p> <p>Konzept: alle</p>	Beeinflussung des Radionuklidtransports	Ja.
<p>Erläuterungen: Die mechanische Dispersion zu verringern, ist generell günstig für die Entwicklung in der Nachverschlussphase. Geeignete Verfüll- und Verschlussmaterialien können diesbezüglich als positive Maßnahmen in der Betriebsphase gelten.</p>					

Nr.	Z/P	FEP-Name	Kurzbeschreibung	Auswirkung auf die Langzeitsicherheit (LZS)	Maßnahmen in der Betriebsphase zur Beeinflussung der Auswirkungen auf LZS (Erläuterungen)
120	P	Diffusion	<p>Unter Diffusion versteht man Durchmischung verschiedener Stoffe durch die thermisch bedingte Eigenbewegung der beteiligten Teilchen (Brownsche Molekularbewegung). Besteht in einem Gasgemisch oder in einer Lösung für eine Substanz ein Konzentrationsgradient, wird dieser durch Diffusion reduziert, die eine statistisch gerichtete Bewegung und einen Transportprozess darstellt.</p> <p>Konzept: alle</p>	Beeinflussung des Radionuklid-transportes	Ja.
<p>Erläuterungen: Die effektive Diffusion zu verringern, ist generell günstig für die Entwicklung in der Nachverschlussphase. Geeignete Verfüll- und Verschlussmaterialien können diesbezüglich als positive Maßnahmen in der Betriebsphase gelten.</p>					

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

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

Forschungszentrum
Boltzmannstraße 14
85748 Garching b. München
Telefon +49 89 32004-0
Telefax +49 89 32004-300

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

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

www.grs.de