Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH

Ableitung von Einwirkungen von Innen für die Betriebsphase eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle

Ergebnisse aus dem Vorhaben BASEL

Lommerzheim, Andree
Förster, Bernd
Bertrams, Niklas
Buhmann, Dieter
Herold, Philipp
Leonhard, Juliane
Wolf, Jens

September 2020

Anmerkung:

Die diesem Bericht zugrunde liegenden Arbeiten wurden im Auftrag des BMWi über den Projektträger Karlsruhe (PTKA) unter dem Förderkennzeichen 02E11486 durchgeführt. Die Verantwortung für den Inhalt liegt allein bei den Autoren.

GRS-619
978-3-94908805-6

Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) gGmbH

GRS-619
978-3-94908805-6

Deskriptoren

Betriebssicherheit, Endlager, Einwirkungen von Innnen, FEP, Prävention, Mitigation

Kurzfassung

Für die sicherheitstechnische Bewertung von Endlagern sind gemäß dem Regelwerk Einwirkungen von Außen (EVA) und Einwirkungen von Innen (EVI) abzuleiten und zu bewerten. Die Eintrittswahrscheinlichkeiten und die Konsequenzen dieser Einwirkungen sind durch Präventions- und Mitigationsmaßnahmen zu begrenzen. Dabei ist eine möglichst umfassende Identifizierung der EVI bzw. EVA anzustreben.

Zur systematischen, möglichst umfassenden und transparenten Ableitung von EVI wurden die Komponenten des FEP-Katalogs mit allen identifizierten Prozess-FEP kombiniert (Bottom-Up-Ansatz). Anschließend wurden die möglichen Auswirkungen identifiziert und EVI abgeleitet. Aufgrund dieser Methodik ist – zumindest im Hinblick auf den FEP-Katalog – die Vollständigkeit der abgeleiteten EVI plausibel. Die Bewertung der Auswirkungen beruht auf Expert Judgement, entsprechend den Erfahrungen aus dem Bergbau bzw. den Erkenntnissen aus generischen Endlagersystemen. Auf dieser Grundlage wurden mögliche Präventions- und Mitigationsmaßnahmen identifiziert sowie deren Auswirkungen auf die Nachverschlussphase bewertet.

Die verschiedenen generischen Endlagerkonzepte aus allen Wirtsgesteinen parallel bzw. gleichzeitig zu betrachten, hat sich allerdings als eine Schwäche der Projektplanung erwiesen. Dies erschwerte die Analysen und erforderte teils sehr komplexe Diskussionen und Erläuterungen.

Zusammenfassend wurde gezeigt, dass die systematische Ableitung der EVI eine weitgehend umfassende Identifizierung der EVI ermöglicht. Auf dieser Basis können Präventions- und Mitigationsmaßnahmen geplant und das Endlagerkonzept optimiert werden. Die entwickelte Methodik ermöglicht eine umfassende Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 1

2 Methodik zur Ableitung von Einwirkungen von Innen 4

3 Anlagen über Tage 9

3.1 Komponente: Schachtförderanlage 10

3.2 Komponente: Antrieb der Seilbahn 12

4 Schächte und Rampen 14

4.1 Komponente „Schacht- und Rampenausbau" 15

4.2 Komponente „Schachteinbauten" 23

4.3 Komponente „Rampeneinbauten" 32

4.4 Komponente „Wirtsgestein (Schacht und Rampe)" 40

4.5 Komponente „Deck- und Nebengebirge" 49

4.6 Komponente „Auflockerungszone (Schacht und Rampe)" 57

4.7 Komponente „Lösungen (Schacht und Rampe)" 65

4.8 Komponente „Flüssige Kohlenwasserstoffe (Schacht und Rampe)" 73

4.9 Komponente „Gase (Schacht und Rampe)" 81

4.10 Komponente „Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Schacht und Rampe)" 89

4.11 Komponente „Schacht- und Rampenverschluss" 96

4.12 Komponente „Endlagergebinde und Transferbehälter (Schacht und Rampe)" 103

4.13 Komponente „Fahrzeuge (Schacht und Rampe)" 109

5 Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche 110

5.1 Komponente „Ausbau Richt- und Wetterstrecken" 111

5.2 Komponente „Ausbau der Infrastrukturbereiche" 119

5.3 Komponente „Technische Einrichtungen (Grubenbau)" 127

5.4 Komponente „Wirtsgestein (Grubenbaue)" 135

5.5 Komponente „Auflockerungszone (Grubenbau)" 145

5.6 Komponente „Lösungen (Grubenbau)" 154

5.7 Komponente „Flüssige Kohlenwasserstoffe (Grubenbau)" 162
5.8 Komponente „Gase (Grubenbau)" 169
5.9 Komponente „Versatz (Grubenbau)" 177
5.10 Komponente „Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Grubenbau)" 184
5.11 Komponente „Streckenverschluss" 192
5.12 Komponente „Verschlüsse im Bereich von Störungszonen" 199
5.13 Komponente „Endlagergebinde und Transferbehälter (Grubenbau)" 207
5.14 Komponente „Fahrzeuge (Grubenbau)" 213

6 Einlagerungsbereiche 215
6.1 Komponente „Ausbau Querschlag" 216
6.2 Komponente „Ausbau der Einlagerungsstrecken und -kammern" 225
6.3 Komponente „Ausbau der Bohrlochüberfahrungsstrecken" 234
6.4 Komponente: „Ausbau der Strecken in Salz (Einlagerungsbereich)" 242
6.5 Komponente „Ausbausystem vertikales Bohrloch" 249
6.6 Komponente „Ausbausystem horizontales Bohrloch" 258
6.7 Komponente „Bohrlocheinbauten und Schlitten" 265
6.8 Komponente „Technische Einrichtungen (Einlagerungsbereich)" 272
6.9 Komponente „Wirtsgestein (Einlagerungsbereich)" 281
6.10 Komponente „Auflockerungszone (Einlagerungsbereich)" 291
6.11 Komponente „Lösungen (Einlagerungsbereich)" 300
6.12 Komponente „Flüssige Kohlenwasserstoffe (Einlagerungsbereich)" 309
6.13 Komponente „Gase (Einlagerungsbereich)" 318
6.14 Komponente „Versatz (Einlagerungsbereich)" 327
6.15 Komponente „Buffer in Einlagerungsstrecken" 335
6.16 Komponente „Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (ELB)" 343
6.17 Komponente „Bohrlochverschluss" 352
6.18 Komponente „Verschlussbauwerke" 360
6.19 Komponente „Endlagergebinde und Transferbehälter" 368
6.20 Komponente „Fahrzeuge (Einlagerungsbereich)" 376

7 Zusammenfassung und Bewertung der EVI 385
7.1 Versagen der Schachtfördertechnik 386

7.2 Versagen der Seilbahntechnik 386
7.3 Versagen des Schachtausbaus 386
7.4 Versagen des Rampenausbaus 387
7.5 Versagen der Schachteinbauten 387
7.6 Versagen der Rampeneinbauten 387
7.7 Versagen des Streckenausbaus 388
7.8 Versagen des Versatzes 388
7.9 Versagen des Buffers 389
7.10 Versagen technischer Einrichtungen 389
7.11 Versagen des Schachtverschlusses 390
7.12 Versagen des Rampenverschlusses 390
7.13 Versagen des Verschlusses im Bereich von Störungszonen 390
7.14 Versagen des Streckenverschlusses 390
7.15 Versagen des Verschlusses einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung 391
7.16 Versagen des Bohrlochverschlusses 391
7.17 Versagen der Bohrlocheinbauten 391
7.18 Versagen des Schlittens 391
7.19 Versagen des Ausbausystems vertikales Bohrloch 391
7.20 Versagen des Ausbausystems horizontales Bohrloch 392
7.21 Versagen des Endlagergebindes 392
7.22 Versagen des Transferbehälters 393
7.23 Versagen von Bergbaumaschinen 394
7.24 Versagen von Transportfahrzeugen 394
7.25 Versagen von Einlagerungsmaschinen 395
7.26 Abschalungen und Löser 395
7.27 Flutung der Grubenbaue 395
7.28 Feuer 396
7.29 Explosion 396
7.30 Bläser 396
7.31 Freisetzung radioaktiver Stoffe 397
7.32 Freisetzung chomotoxischer Stoffe 397

8 Kombinationen von Einwirkungen 398

9 Maßnahmen zur Beherrschung von Einwirkungen von Innen 401

10 Bewertung der Methodik und Verwertung der Ergebnisse 403

10.1 Grundlagen 403

10.2 Der Bottom-up-Ansatz (FEP-Katalog) 403

10.3 Ableitung der Einwirkungen von Innen (EVI) 404

10.4 Maßnahmen zur Prävention und Mitigation von EVI 405

10.5 Bewertung der Methodik (allgemein) 406

10.6 Bewertung der Methodik hinsichtlich Schwachstellen 406

10.7 Verwertung der Ergebnisse 407

Tabellenverzeichnis

Tab. 3.1 Komponenten und Prozesse im Teilsystem „Anlagen über Tage“ 9

Tab. 4.1 Komponenten und Prozesse im Teilsystem „Schächte und Rampen“ 14

Tab. 5.1 Komponenten und Prozesse im Teilsystem „Grubenbaue“ 110

Tab. 6.1 Komponenten und Prozesse im Teilsystem „Einlagerungsbereiche“ 215

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1 Formalisiertes Vorgehen zur Ermittlung von EVI innerhalb eines Teilsystems (Schritt 1) 4

Abb. 2.2 Zuordnung von Komponenten zu den Teilsystemen unter Tage. 8

1 Einleitung

Für ein Endlager von hochradioaktiven[1] Abfällen und ausgedienten Brennelementen werden in nationalen und internationalen Richtlinien Sicherheitsnachweise für die unterschiedlichen Phasen eines Endlagers gefordert /BMU 10/ [2]. 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.

Im Rahmen eines atomrechtlichen Genehmigungsverfahrens nach § 9b AtG ist nachzuweisen, dass für die Anlage die nach dem Stand der Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden durch die Verwendung von Kernbrennstoffen getroffen wurde. Gemäß den Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle /BMU 10/ ist für die Sicherheit des Endlagers in der Betriebsphase einschließlich der Stilllegung die Zuverlässigkeit und Robustheit von Sicherheitsfunktionen innerhalb des Endlagers in Anlehnung an das kerntechnische Regelwerk für vergleichbare Funktionen in anderen kerntechnischen Anlagen nachzuweisen.

Im Sicherheitskonzept für die Betriebsphase ist darzulegen und zu begründen, welche Betriebsstörungen und Störfälle im Endlagerbergwerk auftreten können. Um zu entscheiden, welche Ereignisse als Betriebsstörungen und Störfälle bewertet werden müssen, bedarf es einer Analyse der Ereignisse und Prozesse, die während der Betriebsphase in einem Endlager für hochradioaktive Abfälle ablaufen können. Das Ziel der Analyse kann durch eine systematische und nachvollziehbare Methode erreicht werden. Grundlage der nachfolgenden Analyse sind generische Endlagerkonzepte für hochradioaktive Abfälle in den Wirtsgesteinen Steinsalz, Tongestein und Kristallingestein /GRS 20b/.

---

[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.

Um das Endlagersystem für die Sicherheitsbewertung umfassend zu beschreiben, wurde – in Anlehnung an die Vorgehensweise für die Bewertung der Sicherheit eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle in der Nachverschlussphase – im Vorhaben BASEL eine Liste von Zuständen, Ereignissen und Prozessen (*features, events, processes*, FEP) für die Betriebsphase eines Endlagers identifiziert. Diese Liste beinhaltet FEP für den Betrieb des Endlagers und die Entwicklung abgeworfener Einlagerungsbereiche.

Um mögliche Entwicklungen des Endlagerbetriebs abzuleiten, werden Einwirkungen von Prozessen auf Komponenten und ihre Eigenschaften untersucht. In Anlehnung an die Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke /BMUB 15/ werden Einwirkungen – soweit sie zu Abweichungen vom bestimmungsgemäßen Betrieb führen – in Einwirkungen von außen (EVA) und Einwirkungen von innen (EVI) unterteilt. EVA werden durch Umgebungsbedingungen, Naturereignisse oder zivilisatorische Einwirkungen außerhalb der Anlage hervorgerufen /BMUB 15/. EVA sind in den Sicherheitsanforderungen für Kernkraftwerke genau spezifiziert, lassen sich auf ein Endlagerbergwerk übertragen und wirken zumeist an der Tagesoberfläche ein. Die anlageninternen EVI lassen sich hingegen nur teilweise und sinngemäß aus den Sicherheitsanforderungen für Kernkraftwerke übertragen, da die Anlagentypen „Kernkraftwerk“ und „Endlager“ sehr unterschiedlich sind. Trotz großer Erfahrungen aus dem Bergbau zu möglichen Betriebsstörungen unter Tage fehlt eine Methode für die systematische Herleitung von EVI beim Bau und Betrieb eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle.

Die EVA sind standortspezifisch und in einer generischen Studie nicht systematisch ableitbar. Neben EVA aus dem Regelwerk werden weitere übergeordnete Faktoren eingeführt, wie Unterbrechungen im Betriebsablauf und menschliche Einwirkungen. Bei jedem EVI kann es zu einer Unterbrechung im Betriebsablauf kommen. Diese Unterbrechungen können Einfluss auf die Nachverschlussphase haben, werden jedoch im vorliegenden Bericht – welcher nur die Betriebsphase umfasst – nicht systematisch analysiert bzw. abgeleitet. Menschliche Einwirkungen werden nicht als EVI und EVA unterschieden. Sie können zwar nicht systematisch abgeleitet aber dennoch berücksichtigt werden.

Der Bericht enthält die Dokumentation einer umfassenden systematischen Ableitung von EVI auf der Grundlage der für die generischen Endlagerkonzepte identifizierten FEP beim Bau und den Betrieb eines Endlagers. Diese umfassende Liste von EVI kann für eine Ereignisanalyse und für die Bewertung des Einflusses der EVI auf die Nachverschlussphase /GRS 20a/ angewendet werden.

Die Vorgehensweise für die Ableitung von EVI ist in Kapitel 2 dargelegt. Dabei wurde das Endlagersystem in vier Teilsysteme unterteilt:

- Anlagen über Tage (Kapitel 3),
- Schächte und Rampen (Kapitel 4),
- Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche (Kapitel 5),
- Einlagerungsbereiche (Kapitel 6).

In den Kapiteln wird die Ableitung der EVI für das jeweilige Teilsystem dargestellt. Im Kapitel 7 werden die Ergebnisse zusammengefasst und bewertet. Das Kapitel 8 befasst sich mit den Kombinationen von EVI und EVA. Das Kapitel 9 benennt technische Maßnahmen zur Prävention und Mitigation der EVI. Im Kapitel 10 erfolgt eine Bewertung der neu entwickelten Methode zur systematischen Ableitung der EVI.

2 Methodik zur Ableitung von Einwirkungen von Innen

Als Basis der Arbeiten wurde im Vorhaben BASEL ein FEP-Katalog für die Betriebsphase erstellt, siehe Anlage A /GRS 20a/. Um eine umfassende Liste von EVI zu erstellen, die systematisch, transparent und nachvollziehbar abgeleitet ist, wird für jedes Teilsystem geprüft, ob durch die Einwirkung eines Prozesses auf eine Komponente Abweichungen vom bestimmungsgemäßen Betrieb – also EVI – entstehen können (Schritt 1, Abb. 2.1).

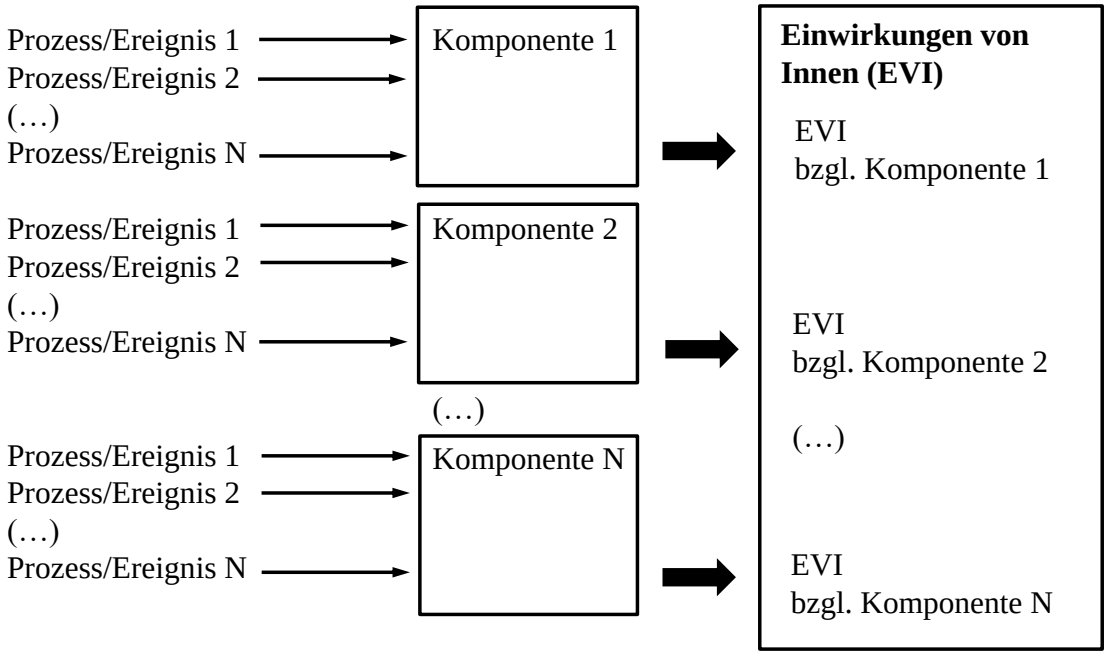

Abb. 2.1 Formalisiertes Vorgehen zur Ermittlung von EVI innerhalb eines Teilsystems (Schritt 1)

Wird in Schritt 1 ein EVI abgeleitet, ist es entsprechend zu begründen. Die Begründung ist zu dokumentieren.

Um die Analyse handhabbar zu halten, wurden einige Festlegungen für die Ableitung getroffen:

- Unfälle von Menschen (Absturz, Verletzung beim Arbeiten, etc.), die beim Betrieb eines Endlagers passieren können, werden bei der Analyse nicht abgeleitet. Die generischen Endlagerkonzepte /GRS 20b/ haben nicht den Detaillierungsgrad, um entsprechende Betriebsstörungsanalysen durchzuführen. Es ist zu erwarten, dass die EVI in ihren Auswirkungen auf den Endlagerbetrieb durch den übergeordneten Faktor „Unterbrechungen im Betriebsablauf“ abgedeckt sind.

- Menschliche Einwirkungen sind eine häufige Ursache für das Auftreten eines EVI (fehlerhafte Durchführung eines Betriebsablaufs, Verursachung von Unfällen). Sie werden dementsprechend bei der Begründung zur Ableitung eines EVI auf einem abstrakten Niveau als „menschliche Fehler“ herangezogen. Eine detaillierte Analyse ist jedoch nicht handhabbar, da die Möglichkeiten menschlicher Einwirkungen nahezu unbegrenzt sind.[3] Bei Reparatur- und Wartungsarbeiten ist zu erwarten, dass auch menschliche Fehler auftreten. Diese werden nicht im Detail behandelt, da es für die generischen Endlagerkonzepte keine Planungen für Reparatur und Wartung gibt.

- Die Gewährleistung der Kritikalitätssicherheit ist eine Genehmigungsvoraussetzung nach Atomgesetz. Für die Betriebsphase des Endlagers ist die Kritikalitätssicherheit der Endlagergebinde entscheidend. Der Nachweis ist durch den Abfallablieferer zu führen und wird vor Annahme der Abfallgebinde im Endlager geprüft (Einhaltung der technischen Annahmebedingungen).

  Präventivmaßnahmen zur Gewährleistung der Kritikalitätssicherheit in der Nachverschlussphase des Endlagers sind in der Betriebsphase umzusetzen. Sie können ggf. – neben der Behälterbeladung – auch das Vorgehen bei der Einlagerung und dem Verschluss des Endlagers betreffen.

- Das absichtliche negative Einwirken (Sabotage) durch Menschen auf den Einlagerungsbetrieb wird hier nicht berücksichtigt.

- Unerkannte Defekte an Behältern sind nach heutigem Stand der Planung nicht auszuschließen. Die Einlagerung undichter Behälter wird aufgrund der radiologischen Überwachung aber als sehr gering wahrscheinlich erachtet. Ohne weitere Einwirkung werden die Behälter als dicht angenommen. Aufgrund des unerkannten Defekts können die Behälter aber bei Einwirkungen versagen, gegen die anforderungsgerecht gefertigte Behälter ausgelegt sind.

- Schwerpunkt der Ableitung liegt auf den Bereichen des Endlagers, in denen radioaktive Abfälle behandelt bzw. transportiert werden. Im Infrastrukturbereich und in den Tagesanlagen werden die betrieblichen Abläufe – insbesondere in konventionellen Bereichen – nicht im Detail untersucht, z. B. Werkstätten.

---

[3] Ein menschlicher Fehler kann z. B. eine falsche (gegenüber der im technischen Konzept vorgesehenen) Materialwahl bei der Erstellung einer Komponente sein. Daraus lässt sich ein entsprechendes EVI „Versagen der Komponente“ ableiten. Die Ursachen für die falsche Materialwahl sind vielfältig: Falsche Deklarierung durch den Hersteller, unsachgemäßer Transport oder Lagerung auf dem Gelände des Endlagers oder Fehler beim Einbau des Materials in die Komponente.

- Die Ableitung von EVI für die Komponenten Lösungen, Gase und Kohlenwasserstoffe (KWS) aus dem Wirtsgestein und aus dem Deck- und Nebengebirge erfordert eine besondere Behandlung, da diese Fluide sich in Komponenten befinden, aus diesen austreten und in andere übertreten können. Daraus folgt, dass gerade für die Fluide eine Vielzahl von gleichen oder in ihrer Bewertung sehr ähnliche EVI abgeleitet würde (z. B. „Flutung des Grubengebäudes“)[4]. Zur Vermeidung von Wiederholungen werden Fluidzutritte in das Grubengebäude nur der Komponente zugeordnet, aus der sie austreten und nicht dem Prozess Fluidzutritt. Die EVI „Feuer“ und „Explosion“ werden immer abgeleitet, wenn brennbare Fluide freigesetzt und gezündet werden können.

- Die Ableitung von EVI, die aus dem Betrieb von Maschinen herrühren, ist bei vielen Prozessen möglich, z. B. Einbringen von Versatz, Erstellung einer Erkundungsbohrung etc. Diese EVI werden nur bei der Komponente „Fahrzeuge“ abgeleitet und nicht beim Einwirken dieser Prozesse auf andere Komponenten.

- Ein Großteil der abgeleiteten EVI bezieht sich auf die Beeinträchtigung von technischen oder geotechnischen Komponenten des Bergwerkes. Diese EVI werden einheitlich als „Versagen“ dieser Komponente bezeichnet, um deutlich zu machen, dass es sich potenziell um eine sicherheitlich relevante Beeinträchtigung handelt.

- Das Monitoring (Beobachtungssysteme für Langzeitentwicklungen) ist gegenwärtig nicht Bestandteil der technischen Endlagerkonzepte und wird nicht berücksichtigt. Beobachtungssysteme für die Betriebsüberwachung sind Bestandteil der technischen Einrichtungen in allen Teilsystemen.

- Bei der radiologischen Betriebssicherheit werden eingelagerte und natürliche Radionuklide berücksichtigt und in gleicher Weise behandelt. Durch die radiologische Überwachung wird im bestimmungsgemäßen Betrieb gewährleistet, dass keine unzulässigen Strahlenexpositionen des Betriebspersonals auftreten.

- Auf Grund der kurzen Zeiträume, in denen die Einlagerungsräume offen stehen, wird davon ausgegangen, dass keine Wartungsarbeiten im Teilsystem „Einlagerungsbereiche“ notwendig sind.

---

[4] Bei Einwirkung des Prozesses „Abteufen des Schachtes" auf die Komponente „Deck- und Nebengebirge" ergibt sich das EVI „Flutung des Grubengebäudes", da Lösungen im Deck- und Nebengebirge durch das Abteufen in den Schacht zutreten können. Damit werden die Lösungsmengen im Schacht erhöht. Die Ableitung des EVI „Flutung des Grubengebäudes" wird hier aus der Einwirkung auf die Komponente Deck- und Nebengebirge abgeleitet, da die Lösungen dem Deck- und Nebengebirge entstammen.

Nachdem im ersten Schritt EVI abgeleitet wurden, folgt in einem zweiten Schritt eine Bewertung der Konsequenzen der abgeleiteten EVI. Es wird dokumentiert, welche Auswirkungen jedes einzelne EVI auf die Komponenten des Endlagersystems hat und welche möglichen weiteren EVI daraus resultieren können. Im dritten und (vorerst) letzten Schritt erfolgt eine systematische Kombination aller in den ersten beiden Schritten abgeleiteten EVI und der in /BMUB 15/ vorgegebenen EVA. Die im zweiten Schritt vorgenommene Bewertung der EVI wird durch Berücksichtigung jeweils eines weiteren EVI erweitert. Es wird dokumentiert, ob ggf. daraus zusätzliche EVI abgeleitet werden können.

Für das Vorhaben BASEL wird an dieser Stelle die Ableitung von EVI beendet. Die Kombination von EVI und deren Bewertung könnte weiter fortgeführt werden, z. B. durch Kombination von mehr als zwei EVI. Solche Kombinationen müssten allerdings dann unterstellt werden, wenn die zu kombinierenden Ereignisse in einem kausalen Zusammenhang stehen können, oder wenn ihr gleichzeitiges Eintreten aufgrund der Wahrscheinlichkeit und des Schadensausmaßes in Betracht zu ziehen ist /BMUB 15/. Erkenntnistheoretisch lässt sich nicht zeigen, dass eine Analyse vollständig ist. Die Annahme, dass diese Ableitung an der o. g. Stelle beendet werden kann, beruht auf Experteneinschätzung.

Über den bestimmungsgemäßen Betrieb hinausgehende Einwirkungen werden in diesem Bericht bei der Ableitung von EVI als „sicherheitstechnisch von Bedeutung“ bezeichnet. Die abgeleiteten EVI beschreiben daher Einwirkungen, die außerhalb des bestimmungsgemäßen Betriebs liegen. Darüber hinaus wird in dieser grundlegenden Analyse keine Einstufung in Störfall oder ähnliches vorgenommen. Es wird auch keine Eintrittswahrscheinlichkeit für das EVI angegeben. Bei der Ableitung der EVI „Freisetzung von radioaktiven bzw. chemotoxischen Stoffen“ wird nicht geprüft, ob mögliche Freisetzungen noch unterhalb heute gültiger Grenzwerte liegen und damit dem bestimmungsgemäßen Betrieb entsprächen. Im Sinne einer umfassenden Betrachtung wurden EVI abgeleitet, wenn aus der Einwirkung eine Gefahr für das Betriebspersonal und/oder eine signifikante Freisetzung von Radionukliden oder chemotoxischen Stoffen zumindest möglich erscheint.

Eine systematische Ableitung erfordert eine eindeutige Zuordnung der Komponenten zu den vier definierten Teilsystemen. Während die Abgrenzung der Übertageanlagen eindeutig ist, bedarf es bei der Abgrenzung der drei Teilsysteme untertage einiger Festlegungen. Die Zuordnung der Komponenten in diesen Teilsystemen ist in Abb. 2.2 dargestellt.

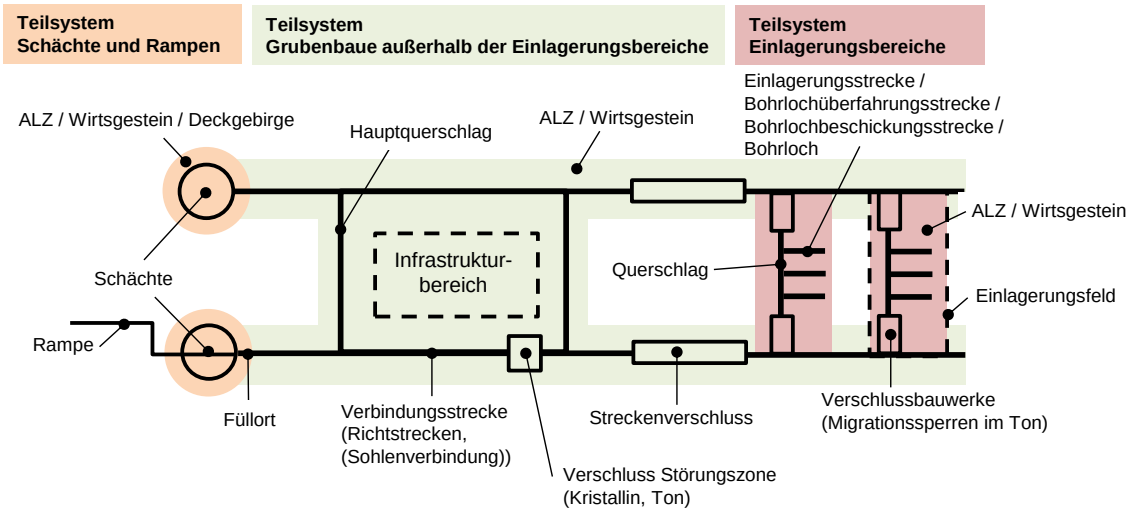

Abb. 2.2 Zuordnung von Komponenten zu den Teilsystemen unter Tage.

Schächte und Rampen bilden die Schnittstelle zwischen den über- und untertägigen Einrichtungen. Die Schacht- bzw. Seilförderanlagen sind Teil der Tagesanlagen, während fest eingebaute Komponenten der Schachtförderung und des Rampentransports Teil des Systems „Schächte und Rampen“ sind. In den Füllörtern werden die Transportgüter aus den Schächten und Rampen für den untertägigen Transport umgeladen (Portalkran). Die Füllörter werden dem Teilsystem „Schächte und Rampen“ zugeordnet.

Bei der gewählten Vorgehensweise handelt es sich um einen „Bottom-Up“-Ansatz. D. h., Ziel der Methodik ist eine möglichst umfassende Menge an Einzelereignissen zu generieren, um herauszufinden, welche Auswirkungen diese Ereignisse im Endlagersystem haben. Dieser Ansatz hat sich bei der Diskussion der „Vollständigkeit“ einer Systemanalyse bei der Durchführung eines Langzeitsicherheitsnachweises bewährt und soll auf die Betriebsphase erweitert werden.

3 Anlagen über Tage

Für die Diskussion der Wechselwirkungen zwischen Betriebs- und Langzeitsicherheit sind vom Betrieb der Tagesanlagen[5] nur die Bereiche relevant, die sich auf den Untertagebetrieb auswirken. Dies sind Schachtförderanlagen und Seilbahnen in der Rampe. Daher wurden nur für diese beiden Komponenten EVI abgeleitet. Dabei werden nur die Prozesse berücksichtigt, die sich auf diese Komponenten auswirken.

Tab. 3.1 Komponenten und Prozesse im Teilsystem „Anlagen über Tage“

1	FEP: Anlagen über Tage
1.1	Komponenten
1.1.1	Gebäude und Fundamente
1.1.2	Endlagergebinde und Transferbehälter (Tagesanlagen)
1.1.3	Schienenfahrzeuge
1.1.4	Radfahrzeuge
1.1.5	Krananlagen
1.1.6	Trocknungsanlage
1.1.7	Technische Einrichtungen (Entladehalle)
1.1.8	Technische Einrichtungen (Pufferhalle)
1.1.9	Technische Einrichtungen (Heiße Zelle)
1.1.10	Technische Einrichtungen (Dekontamination)
1.1.11	Technische Einrichtungen (Werkstatt)
1.1.12	Technische Einrichtungen (Sammlung und Behandlung radioaktiver Betriebsabfälle)
1.1.13	Tore und Schleusen
1.1.14	Schachtförderanlage
1.1.15	Antrieb der Seilbahn
1.1.16	Hauptgrubenlüfteranlage
1.1.17	Einrichtungen zur Energieversorgung
1.1.18	Einrichtungen zur Grubenwasseraufbereitung
1.1.19	Lösungen (Tagesanlagen)
1.1.20	Gase (Tagesanlagen)
1.1.21	Flüssige Kohlenwasserstoffe (Tagesanlagen)
1.2	Prozesse
1.2.1	Betrieb der Trocknungsanlage
1.2.2	Betrieb von Schienenfahrzeugen (außerhalb der Umschlaghalle)

[5] Eine ausführliche Darstellung der Komponenten und FEP der Anlagen über Tage enthält der Bericht /TEC 19/.

1.2.3	Betrieb von Schienenfahrzeugen (innerhalb der Umschlaghalle)
1.2.4	Betrieb von Radfahrzeugen
1.2.5	Betrieb der Krananlagen
1.2.6	Betrieb der Tore und Schleusen
1.2.7	Schachtförderbetrieb
1.2.8	Seilbahnbetrieb
1.2.9	Betrieb der Lüfteranlagen
1.2.10	Reparaturarbeiten in der Heißen Zelle
1.2.11	Reparatur und Wartung (Tagesanlagen)
1.2.12	Betrieb der Wasseraufbereitung
1.2.13	Radiologische Kontrolle/Überwachung
1.2.14	Dekontamination
1.2.15	Konditionierung der Betriebsabfälle
1.2.16	Mechanische Lasten
1.2.17	Metallkorrosion (Tagesanlagen)
1.2.18	Zementkorrosion (Tagesanlagen)
1.2.19	Wärmestrom (Tagesanlagen)
1.2.20	Thermische Expansion oder Kontraktion (Tagesanlagen)

3.1 Komponente: Schachtförderanlage

Die Schachtförderanlage umfasst den Förderturm, die Fördermaschine, die Winde und den Förderkorb.

3.1.1 Einwirkender Prozess: Schachtförderbetrieb

Das FEP beschreibt die Arbeitsabläufe und Prozesse, die mit der Schachtförderung und daraus resultierenden Lasten zusammenhängen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die erwarteten Lasten des bestimmungsgemäßen Betriebes werden bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen der Schachtfördertechnik: Erschütterungen und Defekte können Fördermaschine, Seile und Förderkörbe beschädigen bzw. deren Funktionen beeinträchtigen. Beispielsweise können bei einem schweren Übertreiben, wenn Fahr- und Sicherheitsbremse versagen, Förderseile abreißen und der Förderkorb abstürzen.

3.1.2 Einwirkender Prozess: Mechanische Lasten

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustands in den Tagesanlagen sowie Schachtförderlagen bzw. dem Antrieb der Seilbahn durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten.

Spannungsänderungen im Schacht können aus betrieblichen Lasten (z. B. Förderbetrieb), chemischen Prozessen (z. B. Metallkorrosion) oder der Geosphäre (z. B. Erdbeben) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die erwarteten Lasten des bestimmungsgemäßen Betriebes werden bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen der Schachtfördertechnik: Beim Auftreten auslegungsüberschreitender Lasten können Seile und Förderkörbe beschädigt bzw. deren Funktionen beeinträchtigt werden. Beispielsweise können Förderseile abreißen und der Förderkorb abstürzen.

3.1.3 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion

Das FEP beschreibt die (elektro-)chemischen Reaktionen von Metallen in den Tagesanlagen inkl. Schächte und Rampen bei Gegenwart von wässrigen Lösungen oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

Der Metallanteil der technischen Komponenten (Förderturm, Förderanlage, Stahlseile, Förderkorb) ist sehr hoch. Die Intensität der Korrosion wird durch Schutzanstriche, die (teilweise) Verwendung rostfreier Stähle sowie regelmäßige Kontrolle und Wartungen minimiert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die erwarteten Korrosionserscheinungen der Metallkomponenten während des bestimmungsgemäßen Betriebes werden bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen der Schachtfördertechnik: Falls die metallischen Komponenten nicht in anforderungsgerechter Weise gegen Korrosion geschützt wurden bzw. die Korrosionserscheinungen bei der Kontrolle und Wartung nicht festgestellt wurden, kann es zum Versagen der Schachtfördertechnik kommen.

3.2 Komponente: Antrieb der Seilbahn

Der Antrieb der Seilbahn besteht aus der Fördermaschine und einer Trommel für das Stahlseil. Außerdem wird die Seilbahn selber dieser Komponente zugeordnet.

3.2.1 Einwirkender Prozess: Seilbahnbetrieb

Das FEP umfasst Arbeitsabläufe und Prozesse, die mit der Förderung in der Rampe mittels Seilbahn und den gekoppelten Lasten zusammenhängen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die erwarteten Lasten des bestimmungsgemäßen Betriebes werden bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen der Seilbahntechnik: Erschütterungen und Defekte können die Fördermaschine, Stahlseile und Seilbahn beschädigen bzw. deren Funktionen beeinträchtigen. Beispielweise können Fahr- und Sicherheitsbremse versagen und Antriebseile reißen, so dass die Seilbahn verunglückt.

3.2.2 Einwirkender Prozess: Mechanische Lasten

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustands in den Tagesanlagen sowie Schachtförderlagen bw. dem Antrieb der Seilbahn durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten.

Spannungsänderungen in der Rampe können aus betrieblichen Lasten (z. B. Seilbahnbetrieb), chemischen Prozessen (z. B. Metallkorrosion) oder der Geosphäre (z. B. Erdbeben) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die erwarteten Lasten des bestimmungsgemäßen Betriebes werden bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen der Seilbahntechnik: Beim Auftreten auslegungsüberschreitender Lasten können der Seilbahnantrieb, die Seile und die Seilbahn beschädigt bzw. deren Funktionen beeinträchtigt werden. Beispielsweise können die Antriebsseile abreißen und die Seilbahn verunglücken.

3.2.3 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion

Das FEP beschreibt die (elektro-)chemischen Reaktionen von Metallen in den Tagesanlagen inkl. Schächte und Rampen bei Gegenwart von wässrigen Lösungen oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

Der Metallanteil der technischen Komponenten (Seilbahnantrieb, Stahlseile, Seilbahn) ist sehr hoch. Die Intensität der Korrosion wird durch Schutzanstriche, die (teilweise) Verwendung rostfreier Stähle sowie regelmäßige Kontrolle und Wartung der Anlagen minimiert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die erwarteten Korrosionserscheinungen der Metallkomponenten während des bestimmungsgemäßen Betriebes werden bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen der Seilbahntechnik: Falls die metallischen Komponenten nicht in anforderungsgerechter Weise gegen Korrosion geschützt wurden bzw. die Korrosionserscheinungen bei der Kontrolle und Wartung nicht festgestellt wurden, kann es zum Versagen der Seilbahntechnik kommen.

4 Schächte und Rampen

In diesem Kapitel werden relevante Einwirkungen von Innen (EVI) für das Teilsystem „Schächte und Rampen“ systematisch und detailliert abgeleitet. Die Schächte und Rampen stellen eine Verbindung zur Tagesoberfläche her. Im Teilsystem „Schächte und Rampen“ werden mehrere Komponenten unterschieden, siehe Tabelle 4.1. Diese werden durch Prozesse und Ereignisse beeinflusst. Durch das Zusammenwirken von Komponenten und Prozessen bzw. Ereignissen werden EVI ausgelöst, welche die Grubenbereiche während des Einlagerungsbetriebes und des Rückbaus beeinflussen.

Tab. 4.1 Komponenten und Prozesse im Teilsystem „Schächte und Rampen“

2	FEP: Schächte und Rampen
2.1	Komponenten
2.1.1	Schacht- und Rampenausbau
2.1.2 *	Schachteinbauten
2.1.3 *	Rampeneinbauten
2.1.4	Wirtsgestein (Schacht und Rampe)
2.1.5	Deck- und Nebengebirge
2.1.6	Auflockerungszone (Schacht und Rampe)
2.1.7	Lösungen (Schacht und Rampe)
2.1.8	Flüssige Kohlenwasserstoffe (Schacht und Rampe)
2.1.9	Gase (Schacht und Rampe)
2.1.10	Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Schacht und Rampe)
2.1.11	Schacht- und Rampenverschluss
2.1.12	Endlagergebinde und Transferbehälter (Schacht und Rampe)
2.2	Prozesse
2.2.1	Abteufen und Ausbau des Schachtes
2.2.2	Auffahren und Ausbauen der Rampe
2.2.3	Montage der Schacht- und Rampeneinbauten
2.2.4 **	Schachtbetrieb
2.2.5 **	Rampenbetrieb
2.2.6	Bewetterung (Schacht und Rampe)
2.2.7	Metallkorrosion (Schacht und Rampe)
2.2.8	Zementkorrosion (Schacht und Rampe)
2.2.9	Spannungsänderung (Schacht und Rampe)
2.2.10	Konvergenz (Schacht und Rampe)
2.2.11	Fluidzutritt (Schacht und Rampe)
2.2.12	Zersetzung von Organika (Schacht und Rampe)
2.2.13	Erstellen und Verschließen einer Erkundungs- oder Über-

	wachungsbohrung (Schacht und Rampe)
2.2.14	Einbringen des Schacht- und Rampenverschlusses
2.2.15	Wärmestrom (Schacht und Rampe)
2.2.16	Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Schacht und Rampe)
2.2.17	Alteration der Auflockerungszone (Schacht und Rampe)
2.2.18	Thermische Expansion oder Kontraktion (Schacht und Rampe)

* Beobachtungssysteme für die Betriebsüberwachung sind Bestandteil der Schacht- und Rampeneinbauten, das Monitoring für Langzeitentwicklungen wird nicht berücksichtigt.

** Reparatur und Wartung sind Teil des Schacht- und Rampenbetriebs.

Für die Komponenten des Teilsystems „Schächte und Rampen“ werden die einwirkenden Prozesse beschrieben und Konsequenzen für die Betriebsphase bewertet.

4.1 Komponente „Schacht- und Rampenausbau"

Der Ausbau der Tagesschächte und Rampen erfolgt zur mechanischen Stabilisierung und Gewährleistung der Arbeits- und Betriebsicherheit sowie zur Abdichtung der Schachtröhre bzw. der Rampe gegen Fluide aus dem Wirtsgestein und Deckgebirge.

Es wird offener Ausbau durch Stahlanker und Stahlnetze oder geschlossener Verbundausbau durch armierten Beton (wie z. B. Tübbinge) eingebaut. Im Steinsalz und Kristallin kann in ungestörten Gebirgsbereichen mit vorteilhaften gebirgsmechanischen Eigenschaften auf den Schachtausbau verzichtet werden.

Einwirkungen auf nicht ausgebaute Bereiche von Schächten und Rampen werden bei den Komponenten Wirtsgestein, Deck- und Nebengebirge sowie insbesondere bei der Komponente Auflockerungszone diskutiert, siehe Kapitel 4.4, 4.5 und 4.6.

4.1.1 Einwirkender Prozess: Abteufen und Ausbau des Schachtes

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe beim Schachtabteufen und soweit erforderlich beim Einbringen des Schachtausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Abteufen und Ausbau erfolgen alternierend. Arbeitsabläufe und Auslegung bestimmen die Funktionsfähigkeit der Schachtröhre und des Ausbaus. Aus einer unzureichenden Stabilisierung und Abdichtung des Gebirges können sowohl starke Spannungsänderungen und Entfestigungen als auch Fluidzutritte resultieren, siehe diese Prozesse (Kapitel 4.1.9 und 4.1.11). Die Einwirkungen werden bei der Auslegung des Ausbaus berücksichtigt.

Versagen des Schachtausbaus: Menschliche und technische Fehler beim Abteufen und Ausbau können die Stabilisierungs- und Abdichtfunktion beeinträchtigen.

Ursachen können Fehler bei der Auslegung des Ausbaus (z. B. Dimensionierung der Schachtwandung, Baustoffe), der Interpretation geologischer Daten (z. B. Gebirgsspannungen, Störungen, Fluide), der Spezifikation von Baustoffen (z. B. Fabrikation) und der technischen Ausführung sein.

4.1.2 Einwirkender Prozess: Auffahren und Ausbauen der Rampe

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe beim Auffahren und soweit erforderlich beim Einbringen des Rampenausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Abteufen und Ausbau erfolgen alternierend. Arbeitsabläufe und Auslegung bestimmen die Funktionsfähigkeit der Rampe und des Ausbaus. Aus einer unzureichenden Stabilisierung und Abdichtung des Gebirges können sowohl starke Spannungsänderungen und Entfestigungen als auch Fluidzutritte resultieren, siehe diese Prozesse (Kapitel 4.1.9 und 4.1.11). Die Einwirkungen werden bei der Auslegung des Ausbaus berücksichtigt.

Versagen des Rampenausbaus: Menschliche und technische Fehler beim Auffahren und Ausbau können die Stabilisierungs- und Abdichtfunktion beeinträchtigen.

Ursachen können Fehler bei der Auslegung des Ausbaus (z. B. Dimensionierung der Rampenwandung, Baustoffe), der Interpretation geologischer Daten (z. B. Gebirgsspannungen, Störungen, Fluide), der Spezifikation von Baustoffen (z. B. Fabrikation), und der technischen Ausführung sein.

4.1.3 Einwirkender Prozess: Montage der Schacht- und Rampeneinbauten

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe beim Montieren der Einbauten im Schacht und in der Rampe. Die Einwirkungen beim Stoßen von Bohrungen werden in Kapitel 4.1.13 beschrieben.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Montage und Verankerung der Führungseinrichtungen von Schachtförderanlagen oder Schienen (Rampe) sowie von Versorgungsleitungen erfolgt am Ausbau. Die Ein-

wirkungen des bestimmungsgemäßen Betriebes werden bei der Auslegung des Ausbaus berücksichtigt.

Versagen des Schacht- oder Rampenausbaus: Menschliche und technische Fehler sowie Beschädigungen durch Montagearbeiten und z. B. zu lange Anker, können die Stabilisierungs- und Dichtfunktion des Ausbaus beeinträchtigen.

4.1.4 Einwirkender Prozess: Schachtbetrieb

Das FEP beschreibt die Arbeitsabläufe und Prozesse, die mit der Schachtförderung und den daraus resultierenden Lasten zusammenhängen.

Die Lasten werden durch Förder- und Transporteinrichtungen auf den Schachtausbau und das Gebirge übertragen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Beim Schachtbetrieb kann es zum Abreißen von Verankerungen bzw. zur Kollision von Gegenständen mit dem Schachtausbau kommen. Einwirkungen des bestimmungsgemäßen Betriebes werden bei der Auslegung des Ausbaus berücksichtigt.

Versagen des Schachtausbaus: Erschütterungen können Beschädigungen verursachen und die Funktionen des Schachtausbaus beeinträchtigen.

4.1.5 Einwirkender Prozess: Rampenbetrieb

Das FEP beschreibt die Arbeitsabläufe und die Prozesse, die mit dem Seilbahnbetrieb und den gekoppelten Lasten zusammenhängen.

Die Lasten werden durch Förder- und Transporteinrichtungen auf den Rampenausbau und das Gebirge übertragen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Beim Rampenbetrieb kann es zum Abreißen von Verankerungen der Einbauten bzw. zur Kollision von Gegenständen mit dem Ausbau kommen. Einwirkungen des bestimmungsgemäßen Betriebes werden bei der Auslegung des Ausbaus berücksichtigt.

Versagen des Rampenausbaus: Erschütterungen können Beschädigungen verursachen und die Funktionen des Ausbaus beeinträchtigen.

4.1.6 Einwirkender Prozess: Bewetterung (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch die täglich und jahreszeitlich wechselnden Temperaturen der Wetter werden thermomechanische Spannungen in dem Schacht- bzw. Rampenausbau ausgelöst, (Kapitel 4.1.18). Die Luftfeuchtigkeit kondensiert am Ausbau und kann die Korrosion von Metallteilen und Betonkomponenten fördern (Kapitel 4.1.7 und 4.1.8). Des Weiteren werden Mineralumwandlungen (z. B. Vergipsung) und die mikrobielle Zersetzung von Organika begünstigt (Kapitel 4.1.16). Die Auswirkungen werden bei der Auslegung berücksichtigt und haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

4.1.7 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die (elektro-)chemischen Reaktionen von Metallen in den Grubenbauen bei Gegenwart von wässrigen Lösungen oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

Metalle befinden sich im Schacht- oder Rampenausbau, wie Stahlliner, Anker, Schienen, Stahlseile, Traversen für Leitungen und Kabel, Stahlnetze etc.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Korrosion der Metallteile beschädigt den Ausbau. Die Volumenzunahme der Korrosionsprodukte kann die Integrität und Festigkeit von Komponenten des Ausbaus beeinträchtigen. Die Einwirkungen werden bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen des Schacht- oder Rampenausbaus: Hohe Korrosionsraten der Metallteile können den Ausbau beschädigen und seine Funktionen beeinträchtigen.

4.1.8 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit Lösungen.

Zementbasierte Baustoffe des Ausbaus können der Korrosion unterliegen. Durch die Änderung der Hydrochemie kann die Korrosionsbeständigkeit beeinflusst werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Bei allen Konzepten erfolgt die mechanische Stabilisierung der Schachtröhre bzw. Rampe teilweise durch Betonwandungen. Im Ausbau der Sohle einer Rampe befindet sich eine Betonfahrbahn, in der Schienen für die Seilbahn eingebettet sind. Die Korrosion kann diese Komponenten beschädigen. Die Auswirkungen werden bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen des Schacht- oder Rampenausbaus: Hohe Korrosionsraten der Betonwandungen können den Ausbau beschädigen und Funktionen beeinträchtigen.

4.1.9 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustandes in Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten. Die Einwirkung thermomechanischer Beanspruchungen wird beim Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 4.1.18) behandelt.

Spannungsänderungen im Schacht und in der Rampe können aus betrieblichen Lasten (z. B. Förderbetrieb), chemischen Prozessen (z. B. Quellen von Baustoffen) oder der Geosphäre (z. B. litho- bzw. hydrostatischer Druck, Erdbeben) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der Ausbau ist gegen Spannungsänderungen u. a. durch betriebliche Lasten, Hohlraumkonvergenz im bestimmungsgemäßen Betrieb und das Bemessungserdbeben ausgelegt.

Versagen des Schacht- oder Rampenausbaus: Falls der Ausbau nicht korrekt ausgelegt ist, kann es durch die litho- bzw. hydrostatischen Drücke oder durch Erdbeben zum Versagen kommen.

4.1.10 Einwirkender Prozess: Konvergenz (Schacht und Rampe)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im umgebenden Gebirge einsetzt.

In ausgebauten Schacht- und Rampenabschnitten wird der Ausbau im Gebirge eingespannt und die ALZ schließt sich. Im Kristallin ist die Konvergenz aufgrund der hohen Gebirgsfestigkeit nur von geringer Bedeutung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Nach dem Auflaufen des Gebirges wirkt die Gebirgsspannung auf den Schacht- bzw. Rampenausbau, der gegen den erwarteten Gebirgsdruck ausgelegt ist. Die Konvergenzraten bestimmen die Einspannung des Ausbaus und beeinflussen somit die Spannungsverhältnisse (Kapitel 4.1.9). Die Konvergenzentwicklung wird bei der Auslegung des Ausbaus berücksichtigt.

Versagen des Schacht- oder Rampenausbaus: Fehlerhafte Auslegungen und Fehlinterpretation der Konvergenzraten können zum Versagen des Ausbaus führen.

4.1.11 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (Schacht und Rampe)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffen, aus dem Deckgebirge oder Wirtsgestein.

Durch die vorlaufende Standorterkundung und entsprechende Abdichtmaßnahmen sind starke Lösungs- und Gaszutritte nicht zu erwarten. Geringe Lösungs- und Gaszutritte, die den Schacht- und Rampenbetrieb nicht beeinträchtigen, werden toleriert. Gaszutritte sind relevant, wenn es sich um brennbare / explosive Gase handelt oder diese unter hohem Druck stehen (Bläser).

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 der Komponente zugeordnet, der sie entstammt. In Schächten und Rampen treten Fluide aus dem Wirtsgestein oder Deckgebirge zu (Kapitel 4.4 und 4.5).

Die Hydrochemie beeinflusst chemische Prozesse, wie die Korrosionsraten von Metall und Zement (Kapitel 4.1.7 und 4.1.8) und das „Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen“ (Kapitel 4.1.16). Der Fluiddruck bewirkt hydromechanische Spannungen im Ausbau (Kapitel 4.1.9).

Versagen des Schacht- oder Rampenausbaus: Auswaschungen im Beton können die Funktionen des Ausbaus (bzw. der Schachtwandung) beeinträchtigen.

4.1.12 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die mikrobielle Degradation organischer Bestandteile aus den Baustoffen.

Im Schacht- und Rampenausbau kommen nur geringe Mengen an Organika aus den Baustoffen vor, wie ggf. Asphaltdichtungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Asphaltzersetzung verläuft relativ langsam und hat während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

4.1.13 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Schacht und Rampe)

Das FEP umfasst die Abläufe beim Stoßen und Verfüllen bzw. Verschließen von Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen.

Erkundungs- und Überwachungsbohrungen stellen potenzielle Wegsamkeiten im Wirtsgestein dar und werden qualifiziert verschlossen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Nach dem Ausbau werden nur noch wenige Erkundungsbohrungen gestoßen. Der Aufschlussgrad in der Kontur der Schächte und Rampen ist sehr gering. Die Einwirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

4.1.14 Einwirkender Prozess: Einbringen des Schacht- und Rampenverschlusses

Das FEP umfasst den Einbau der Dichtelemente und Widerlager von Schacht- und Rampenverschlüssen zum Ende der Betriebsphase.

Der Ausbau im Bereich der Dichtelemente der Verschlüsse wird entfernt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Schacht- und Rampenverschlüsse werden errichtet, wenn der Ausbau nicht mehr erforderlich oder bereits entfernt ist. Das Entfernen von geschlossenem Ausbau bewirkt Spannungen im angrenzenden Gebirge. Die Auswirkungen sind bei der Komponente „Schacht- und Rampenverschluss“ beschrieben (Kapitel 4.11).

4.1.15 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die Übertragung von Wärme zwischen Komponenten und Grubenbauen. Der Wärmestrom in Schacht und Rampe resultiert in der Betriebsphase aus dem geothermischen Wärmefluss und klimatischen Einflüssen.

Der Wärmestrom wird bei der Auslegung technischer Komponenten berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase. Aus der Wärmeübertragung resultieren jedoch Einwirkungen auf die Konvergenz über das Verformungsverhalten von Steinsalz (Kapitel 4.1.10), veränderte Bedingungen von chemischen Prozessen, wie Metall- und Zementkorrosion (Kapitel 4.1.7 und 4.1.8) sowie Alteration der Auflockerungszone (Kapitel 4.1.17), und thermomechanische Spannungen im Ausbau (Kapitel 4.1.18).

4.1.16 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Schacht und Rampe)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet, woraus Veränderungen des Quelldrucks und des Volumens resultieren.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Für den Schacht- und Rampenausbau werden keine tonhaltigen Baustoffe verwendet.

4.1.17 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (Schacht und Rampe)

Das FEP umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen in der Auflockerungszone (ALZ) durch Wetter und wässrige Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Alterationen in der ALZ können Zusammensetzung und Volumen von Mineralen bzw. Gesteinen verändern und mechanische Spannungen im Ausbau der Schächte und Rampen verursachen (Kapitel 4.1.9).

4.1.18 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die Volumenzunahme oder -abnahme von Fluiden und Feststoffen bei Temperaturänderungen.

Diese resultieren insbesondere aus den meteorologischen Bedingungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Thermische Volumenänderungen beeinflussen Porenraum und Gefüge des Ausbaus und bewirken thermomechanische Spannungen. Dadurch können sich mechanische Eigenschaften, wie die Festigkeit, ändern. Die in Schacht und Rampe erwarteten Volumenänderungen werden bei der Auslegung technischer Komponenten berücksichtigt.

Versagen des Schacht- oder Rampenausbaus: Thermomechanische Spannungen bewirken Rissbildungen, die die Funktionen des Ausbaus beeinträchtigen können.

4.2 Komponente „Schachteinbauten"

Die Schachteinbauten beschreiben alle technischen Einrichtungen, die im Schacht für den Betrieb bzw. für die Ver- und Entsorgung eingebaut werden. Diese Einbauten enthalten Brandlasten.

Während der Auffahrung, des Betriebes und der Stilllegung der Grubenbaue werden verschiedene technische Einbauten für Transport, Energieversorgung, Bewetterung, Kommunikation etc. benötigt. Diese technischen Einrichtungen werden zumeist nach der Nutzung entfernt. Beobachtungssysteme der Betriebsüberwachung sind Schachteinbauten, Monitoring wird nicht berücksichtigt.

Die Schachtförderanlage wird dem Teilsystem „Anlagen über Tage“ zugeordnet, siehe Kapitel 3). Wegen der Überschneidungen mit den im Schacht ablaufenden Prozessen werden EVI für den Schachtförderbetrieb auch in diesem Kapitel abgeleitet.

4.2.1 Einwirkender Prozess: Abteufen und Ausbau des Schachtes

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe beim Schachtabteufen und, soweit erforderlich, beim Einbringen des Schachtausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozesse und Komponente sind zeitlich entkoppelt: Die Arbeiten sind Voraussetzung für das Einbringen der Schachteinbauten. Während des Abteufens und des Ausbaus erfolgt eine kontinuierliche Charakterisierung des umgebenden Gebirges.

4.2.2 Einwirkender Prozess: Auffahren und Ausbauen der Rampe

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe beim Auffahren und, soweit erforderlich, beim Einbringen des Rampenausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt.

4.2.3 Einwirkender Prozess: Montage der Schacht- und Rampeneinbauten

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe beim Montieren der Einbauten im Schacht und in der Rampe. Die Einwirkungen beim Stoßen von Bohrungen werden in Kapitel 4.2.13 beschrieben.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Montage der Einbauten kann bei offenem Ausbau die mechanischen und hydraulischen Eigenschaften des Gebirges ändern, bei geschlossenem Ausbau den Ausbau selbst verändern und Messergebnisse der Überwachung beeinflussen. Fehler bei der Montage können Schachteinbauten beschädigen.

Versagen der Schachteinbauten: Fehlerhafte Auslegung und Montage können Einbauten beschädigen bzw. deren Funktion beeinträchtigen.

Hierzu gehören das Versagen der Versorgungsleitungen, Bewetterung, Kommunikationstechnik etc.

Feuer: Montagefehler oder defekte elektrische Versorgungsleitungen können Zündfunken, Kurzschluss und Feuer verursachen.

Versagen der Schachtfördertechnik: Fehlerhafte Auslegung und Montage kann die Fördertechnik im Schacht beeinträchtigen.

4.2.4 Einwirkender Prozess: Schachtbetrieb

Das FEP beschreibt die Arbeitsabläufe und Prozesse, die mit der Schachtförderung und daraus resultierenden Lasten zusammenhängen.

Die Lasten werden über Förder- und Transporteinrichtungen (Schachteinbauten) auf den Ausbau und das Gebirge übertragen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Beim Schachtbetrieb kann es zum Abreißen von Verankerungen bzw. zur Kollision von Gegenständen mit Schachteinbauten kommen. Die erwarteten Lasten des bestimmungsgemäßen Betriebes werden bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen von Schachteinbauten: Erschütterungen und Defekte können Einbauten beschädigen bzw. deren Funktion beeinträchtigen.

Hierzu gehören das Versagen von Versorgungsleitungen, Bewetterung, Kommunikationstechnik etc.

Feuer: Defekte elektrische Versorgungsleitungen können Zündfunken, Kurzschluss und Feuer verursachen.

Freisetzung chemotoxischer Stoffe: Aus beschädigten Kraftstoffleitungen können chemotoxische Stoffe auslaufen.

Versagen der Schachtfördertechnik: Erschütterungen und Defekte können Führungseinrichtungen und Förderkörbe beschädigen bzw. deren Funktionen beeinträchtigen.

Beispielsweise können bei einem schweren Übertreiben, wenn Fahr- und Sicherheitsbremse versagen, Förderseile abreißen und der Förderkorb abstürzen.

4.2.5 Einwirkender Prozess: Rampenbetrieb

Das FEP umfasst Arbeitsabläufe und Prozesse, die mit der Förderung in der Rampe (Seilbahn) und den gekoppelten Lasten zusammenhängen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind räumlich entkoppelt.

4.2.6 Einwirkender Prozess: Bewetterung

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Während der Betriebsphase müssen Schächte bewettert werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch die täglich und jahreszeitlich wechselnden Temperaturen der Wetter werden thermomechanische Spannungen in den Schachteinbauten ausgelöst (Kapitel 4.2.18). Die Luftfeuchtigkeit kondensiert an Einbauten und kann Korrosion von Metallteilen und Betonkomponenten, wie Führungen und Traversen fördern (Kapitel 4.2.7 und 4.2.8). Die Einwirkungen werden bei der Auslegung berücksichtigt und haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

Einwirkungen von Gasen werden bei der Komponente „Gase“ (Kapitel 4.9) beschrieben.

4.2.7 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die (elektro-)chemischen Reaktionen von Metallen in den Grubenbauen bei Gegenwart von wässrigen Lösungen oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

Ein Teil der Schachteinbauten besteht aus metallischen Komponenten, wie Führungseinrichtungen, Träger, Traversen, Stahlseile etc.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Korrosion der Metallteile kann Einbauten beschädigen. Die Volumenzunahme der Korrosionsprodukte kann die Integrität und Festigkeit von Betonkomponenten beeinträchtigen.

Versagen der Schachteinbauten: Hohe Korrosionsraten der Metallteile können Einbauten beschädigen bzw. deren Funktion beeinträchtigen.

Hierzu gehören das Versagen der Stromversorgung, Bewetterung, Kommunikationstechnik etc.

Versagen der Schachtfördertechnik: Hohe Korrosionsraten von Führungseinrichtungen, Förderseilen und Trägern etc. beschädigen diese und können den Förderbetrieb einschränken.

4.2.8 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit Lösungen.

Zementbasierte Baustoffe der Einbauten können der Korrosion unterliegen. Durch die Änderung der Hydrochemie kann die Korrosionsbeständigkeit beeinflusst werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Bei Schachteinbauten und -fördertechnik gibt es nur wenige Bestandteile mit Zementkomponenten, wie z. B. Zementgewichte von Seilspanneinrichtungen. Auswirkungen der Korrosion haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

4.2.9 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustandes in Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten. Die Einwirkungen thermomechanischer Beanspruchungen werden beim Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 4.2.18) behandelt.

Spannungsänderungen im Schacht können aus betrieblichen Lasten (z. B. Förderbetrieb), chemischen Prozessen (z. B. Quellen von Baustoffen) oder der Geosphäre (z. B. litho- bzw. hydrostatischer Druck, Erdbeben) herrühren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Einbauten von Schächten sind gegen Spannungsänderungen, u. a. durch betriebliche Lasten, Hohlraumkonvergenz im bestimmungsgemäßen Betrieb und das Bemessungserdbeben, ausgelegt.

Versagen der Schachteinbauten: Fehlerhafte Auslegungen, Fehlinterpretation der geologischen Bedingungen oder Erdbeben, die das Bemessungserdbeben überschrei-

ten, bewirken Spannungsänderungen, die Einbauten beschädigen und ihre Funktionen beeinträchtigen können.

Hierzu gehören das Versagen der Versorgungsleitungen, Bewetterung, Kommunikationstechnik etc.

Versagen der Schachtfördertechnik: Spannungsänderungen können Förderseile und Führungseinrichtungen beschädigen, bzw. deren Funktionen beeinträchtigen.

4.2.10 Einwirkender Prozess: Konvergenz (Schacht und Rampe)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im umgebenden Gebirge einsetzt.

In ausgebauten Schächten werden Gebirgsverformungen durch den Schachtausbau aufgefangen, in nicht ausgebauten Abschnitten wirkt die Konvergenz direkt auf die Schachteinbauten.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Nach dem Auflaufen des Gebirges wirkt die Gebirgsspannung auf den Schachtausbau (vgl. Kapitel 4.1.10) oder direkt auf die Einbauten. Die Konvergenzentwicklung wird bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen der Schachteinbauten: Fehlerhafte Auslegungen der Einbauten und Fehlinterpretation der Konvergenzraten können die Funktionen der Einbauten beeinträchtigen.

Hierzu gehören das Versagen der Versorgungsleitungen, Bewetterung, Kommunikationstechnik etc**.**

Versagen der Schachtfördertechnik: Hohe Konvergenzraten können Führungseinrichtungen für den Förderkorb verschieben, so dass die Schachtfördertechnik gestört wird oder versagt.

4.2.11 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffen, aus dem Deckgebirge oder Wirtsgestein.

Durch die vorlaufende Standorterkundung und entsprechende Abdichtmaßnahmen sind starke Lösungs- und Gaszutritte nicht zu erwarten. Geringe Lösungs- und Gaszutritte, die den Schachtbetrieb nicht beeinträchtigen, werden toleriert. Gaszutritte sind relevant, wenn es sich um brennbare / explosive Gase handelt oder diese unter hohem Druck stehen (Bläser).

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 der Komponente zugeordnet, der sie entstammen. In Schächten und Rampen treten Fluide aus dem Wirtsgestein oder Deckgebirge zu (Kapitel 4.4 und 4.5).

Die Hydrochemie der Lösung beeinflusst chemische Prozesse, wie die Korrosionsraten von Metall und Zement (Kapitel 4.2.7 und Kapitel 4.2.8) und das „Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen“ (Kapitel 4.2.16). Der Fluiddruck bewirkt hydromechanische Spannungen in der Kontur, dem Ausbau, den Halterungen und Befestigungen (Kapitel 4.2.9).

Versagen der Schachteinbauten: Auswaschungen an Halterungen und Befestigungen der Schachteinbauten können deren Funktion beeinträchtigen.

Hierzu gehören das Versagen der Versorgungsleitungen, Bewetterung, Kommunikationstechnik etc**.**

4.2.12 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die mikrobielle Zersetzung organischer Bestandteile aus den Verschlüssen und dem Wirtsgestein.

In den Schachteinbauten gibt es organische Komponenten nur in geringer Menge, wie Schmierstoffe, Kunststoffe von Kabeln und Leitungen, Farben und Lacke.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Degradation von Schmierstoffen, Kunststoffen, Farben und Lacken verläuft relativ langsam und hat während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

4.2.13 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Schacht und Rampe)

Das FEP umfasst die Abläufe beim Stoßen und Verfüllen bzw. Verschließen von Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen.

Erkundungs- und Überwachungsbohrungen stellen potenzielle Wegsamkeiten im Wirtsgestein dar und werden qualifiziert verschlossen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Während des Betriebes werden keine oder nur noch einzelne Erkundungsbohrungen gestoßen, die von den Einbauten räumlich getrennt sind.

4.2.14 Einwirkender Prozess: Einbringen des Schacht- und Rampenverschlusses

Das FEP umfasst den Einbau der Dichtelemente und Widerlager von Schacht- bzw. Rampenverschlüssen.

Die Schachteinbauten werden entfernt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Schacht- und Rampenverschlüsse werden errichtet, wenn die Einbauten nicht mehr erforderlich oder bereits entfernt sind. Das Entfernen von Einbauten bewirkt Spannungen im angrenzenden Gebirge. Die Auswirkungen sind bei der Komponente „Schacht- und Rampenverschluss“ beschrieben (Kapitel 4.11).

4.2.15 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die Übertragung von Wärme zwischen Komponenten und Grubenbauen. Der Wärmestrom in Schacht und Rampe resultiert in der Betriebsphase aus dem geothermischen Wärmefluss und klimatischen Einflüssen.

Der Wärmestrom wird bei der Auslegung technischer Komponenten berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Einwirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase. Der Wärmestrom beeinflusst aber die Konvergenz über das Verformungsverhalten von Steinsalz (Kapitel 4.2.10), verändert Bedingungen von chemi-

schen Prozessen, wie Metall- und Zementkorrosion (Kapitel 4.2.7 und 4.2.8) sowie Alterationen der Auflockerungszone (Kapitel 4.2.16), und bewirkt thermomechanische Spannungen (Kapitel 4.2.18) in den Schachteinbauten.

4.2.16 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Schacht und Rampe)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Schachteinbauten enthalten keine Tonminerale.

4.2.17 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone

Das FEP umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen in der ALZ durch Wetter und wässrige Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Alterationen in der ALZ können Zusammensetzung und Volumen von Mineralen bzw. Gesteinen in der Kontur verändern und mechanische Spannungen auf die Aufhängungen bzw. Befestigungen der Schachteinbauten übertragen (Kapitel 4.2.9).

4.2.18 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die Volumenzunahme oder -abnahme von Fluiden und Feststoffen bei Temperaturänderungen.

Temperaturänderungen resultieren aus Geothermie und meteorologischen Bedingungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Thermische Volumenänderungen sind so gering, dass sie keine sicherheitstechnische Bedeutung haben.

4.3 Komponente „Rampeneinbauten"

Die Rampeneinbauten beschreiben alle technischen Einrichtungen, die in der Rampe für den Betrieb bzw. die Ver- und Entsorgung eingebaut werden. Diese Einbauten enthalten Brandlasten.

Während der Auffahrung, des Betriebes und der Stilllegung der Grubenbaue werden verschiedene technische Einbauten für Transport, Energieversorgung, Bewetterung, Kommunikation etc. benötigt. Diese technischen Einrichtungen werden zumeist nach der Nutzung entfernt. Beobachtungssysteme der Betriebsüberwachung sind Rampeneinbauten; Monitoring wird nicht berücksichtigt.

Der Einbau von Rampen ist bisher nur bei Endlagerkonzepten in Kristallingesteinen vorgesehen.

Der Antrieb der Seilbahn wird dem Teilsystem „Anlagen über Tage“ zugeordnet, siehe Kapitel 3). Wegen der Überschneidungen mit den in der Rampe ablaufenden Prozessen werden EVI für den Seilbahnbetrieb auch in diesem Kapitel abgeleitet.

4.3.1 Einwirkender Prozess: Abteufen und Ausbau des Schachtes

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe beim Schachtabteufen und soweit erforderlich beim Einbringen des Schachtausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozesse und Komponente sind räumlich entkoppelt.

4.3.2 Einwirkender Prozess: Auffahren und Ausbauen der Rampe

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe beim Auffahren und soweit erforderlich beim Einbringen des Rampenausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozesse und Komponente sind zeitlich entkoppelt: Die Arbeiten sind Voraussetzung für das Einbringen der Rampeneinbauten. Während der Auffahrung und des Ausbaus erfolgt eine kontinuierliche Charakterisierung des umgebenden Gebirges.

4.3.3 Einwirkender Prozess: Montage der Schacht- und Rampeneinbauten

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe beim Montieren der Einbauten im Schacht und in der Rampe. Die Einwirkungen beim Stoßen von Bohrungen werden in Kapitel 4.3.13 beschrieben.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Montage der Einbauten kann bei offenem Ausbau die mechanischen und hydraulischen Eigenschaften des Gebirges ändern, bei geschlossenem Ausbau den Ausbau selbst verändern und Messergebnisse der Überwachung beeinflussen. Fehler bei der Montage können Rampeneinbauten beschädigen.

Versagen der Rampeneinbauten: Fehlerhafte Auslegung und Montage können Einbauten beschädigen bzw. deren Funktion beeinträchtigen.

Hierzu gehören das Versagen der Versorgungsleitungen, Bewetterung, Kommunikationstechnik etc.

Feuer: Montagefehler oder defekte elektrische Versorgungsleitungen können Zündfunken, Kurzschluss und Feuer verursachen.

Versagen der Seilbahntechnik: Fehlerhafte Auslegung und Montage kann die Fördertechnik (Schienen) in der Rampe beeinträchtigen.

4.3.4 Einwirkender Prozess: Schachtbetrieb

Das FEP umfasst die Arbeitsabläufe und Prozesse, die mit der Schachtförderung und daraus resultierenden Lasten zusammenhängen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind räumlich entkoppelt.

4.3.5 Einwirkender Prozess: Rampenbetrieb

Das FEP umfasst Arbeitsabläufe und Prozesse, die mit der Förderung in der Rampe (Seilbahn) und den gekoppelten Lasten zusammenhängen.

Die Lasten werden über Schienen auf den Ausbau und das Gebirge übertragen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Beim Rampenbetrieb kann es zum Abreißen von Verankerungen bzw. zur Kollision von Gegenständen mit Rampeneinbauten kommen. Die erwarteten Lasten des bestimmungsgemäßen Betriebes werden bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen der Rampeneinbauten: Erschütterungen und Defekte können Einbauten beschädigen bzw. deren Funktion beeinträchtigen.

Hierzu gehören das Versagen von Versorgungsleitungen, Bewetterung, Kommunikationstechnik etc.

Feuer: Montagefehler oder defekte elektrische Versorgungsleitungen können Zündfunken, Kurzschluss und Feuer verursachen.

Versagen der Seilbahntechnik: Erschütterungen und Defekte können Schienen oder Förderseile der Seilbahn beschädigen bzw. deren Funktionen beeinträchtigen.

Beispielsweise können Transporteinrichtungen entgleisen oder Seile der Seilbahn reißen.

4.3.6 Einwirkender Prozess: Bewetterung

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Während der Betriebsphase müssen Rampen bewettert werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch die täglich und jahreszeitlich wechselnden Temperaturen der Wetter werden thermomechanische Spannungen in den Rampeneinbauten ausgelöst (Kapitel 4.3.18). Die Luftfeuchtigkeit kondensiert an Einbauten und kann Korrosion von Metallteilen und Betonkomponenten, wie Stahlseile und Schienen fördern (Kapitel 4.3.7 und 4.3.8). Die Auswirkungen werden bei der Auslegung berücksichtigt und haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

Einwirkungen von Gasen werden bei der Komponente „Gase“ (Kapitel 4.9) beschrieben.

4.3.7 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die (elektro-)chemischen Reaktionen von Metallen in den Grubenbauen bei Gegenwart von wässrigen Lösungen oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

Ein Teil der Rampeneinbauten besteht aus metallischen Komponenten, wie Schienen und Seile.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Korrosion der Metallteile kann Einbauten beschädigen. Die Volumenzunahme der Korrosionsprodukte kann die Integrität und Festigkeit von Betonkomponenten beeinträchtigen.

Versagen der Rampeneinbauten: Hohe Korrosionsraten der Metallteile können Einbauten beschädigen bzw. deren Funktion beeinträchtigen.

Hierzu gehören das Versagen der Versorgungsleitungen, Bewetterung, Kommunikationstechnik etc.

Versagen der Seilbahntechnik: Hohe Korrosionsraten von Schienen, Förderseilen und Traversen etc. beschädigen diese und können den Förderbetrieb einschränken.

4.3.8 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit Lösungen.

Zementbasierte Baustoffe der Einbauten können der Korrosion unterliegen. Durch die Änderung der Hydrochemie kann die Korrosionsbeständigkeit beeinflusst werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Rampeneinbauten und -fördertechnik enthalten Zementkomponenten, z. B. Fahrbahnen und Fundamente. Die Korrosion kann diese Komponenten beschädigen.

Versagen der Rampeneinbauten: Hohe Korrosionsraten der Betonkomponenten können Einbauten beschädigen und deren Funktion beeinträchtigen.

Versagen der Seilbahntechnik: Hohe Korrosionsraten der Betonfahrbahn können die Lage von Schienen verändern und so den Förderbetrieb einschränken.

Beispielsweise können Transporteinrichtungen in der Rampe entgleisen.

4.3.9 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustandes in Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten. Die Einwirkung thermomechanischer Beanspruchungen wird beim Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 4.3.18) behandelt.

Spannungsänderungen in der Rampe können aus betrieblichen Lasten (z. B. Betrieb der Seilbahn), chemischen Prozessen (z. B. Quellen von Baustoffen) oder der Geosphäre (z. B. litho- bzw. hydrostatischer Druck, Erdbeben) herrühren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Einbauten in Rampen (wie Fahrbahnen, Fundamente, Schienen, Leitungen) sind gegen Spannungsänderungen, u. a. durch betriebliche Lasten, ausgelegt.

Versagen der Seilbahntechnik: Spannungsänderungen können Förderseile oder Schienen beschädigen und deren Funktionen beeinträchtigen.

Versagen der Rampeneinbauten: Fehlerhafte Auslegungen, Fehlinterpretation der geologischen Bedingungen oder Erdbeben, die das Bemessungserdbeben überschreiten, bewirken Spannungsänderungen, die Einbauten beschädigen und ihre Funktionen beeinträchtigen können.

Hierzu gehören das Versagen der Versorgungsleitungen, Bewetterung, Kommunikationstechnik etc.

4.3.10 Einwirkender Prozess: Konvergenz (Schacht und Rampe)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im umgebenden Gebirge einsetzt.

Tageszugänge über Rampen sind nur im Kristallingestein vorgesehen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

In Kristallingesteinen ist die Konvergenz vernachlässigbar gering. Im anstehenden Deckgebirge wird die Rampe ausgebaut, so dass die Konvergenz durch den Ausbau

abgefangen wird (vgl. Kapitel 4.1). Die Einwirkungen auf Rampeneinbauten haben keine sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

4.3.11 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffen, aus dem Deckgebirge oder Wirtsgestein.

Durch die vorlaufende Standorterkundung und entsprechende Abdichtmaßnahmen sind starke Lösungs- und Gaszutritte nicht zu erwarten. Geringe Lösungszutritte, die den Rampenbetrieb nicht beeinträchtigen, werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 der Komponente zugeordnet, der sie entstammt. In Rampen treten Fluide aus dem Wirtsgestein oder Deckgebirge zu (Kapitel 4.4 und 4.5).

Die Hydrochemie der Lösung beeinflusst chemische Prozesse, wie die Korrosionsraten von Metall und Zement (Kapitel 4.3.7 und Kapitel 4.3.8) und das „Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen“ (Kapitel 4.3.16). Fluiddruck bewirkt hydromechanische Spannungen in der Kontur, dem Ausbau, den Halterungen und Befestigungen (Kapitel 4.3.9).

Versagen der Rampeneinbauten: Auswaschungen an Halterungen und Befestigungen der Rampeneinbauten können deren Funktion beeinträchtigen.

Hierzu gehören das Versagen der Versorgungsleitungen, Bewetterung, Kommunikationstechnik etc.

4.3.12 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die die mikrobielle Zersetzung organischer Komponenten im Grubengebäude.

In den Rampeneinbauten gibt es organische Komponenten nur in geringer Menge, wie Schmierstoffe, Kunststoffe von Kabeln und Leitungen, Farben und Lacke.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Eine Degradation von Schmierstoffen, Kunststoffen, Farben und Lacken verläuft relativ langsam und hat während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

4.3.13 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Schacht und Rampe)

Das FEP umfasst die Abläufe beim Stoßen und Verfüllen bzw. Verschließen von Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen.

Erkundungs- und Überwachungsbohrungen stellen potenzielle Wegsamkeiten im Wirtsgestein dar und werden qualifiziert verschlossen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Während des Betriebs werden keine oder nur noch einzelne Erkundungsbohrungen gestoßen, die von den Einbauten räumlich getrennt sind.

4.3.14 Einwirkender Prozess: Einbringen des Schacht- und Rampenverschlusses

Das FEP umfasst den Einbau der Dichtelemente und Widerlager von Schacht- bzw. Rampenverschlüssen.

Die Rampeneinbauten werden entfernt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Schacht- und Rampenverschlüsse werden errichtet, wenn die Einbauten nicht mehr erforderlich oder bereits entfernt sind. Das Entfernen von Einbauten bewirkt Spannungsänderungen im angrenzenden Gebirge. Die Einwirkungen sind bei der Komponente „Schacht- und Rampenverschluss“ beschrieben (Kapitel 4.11).

4.3.15 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die Übertragung von Wärme zwischen Komponenten und Grubenbauen. Der Wärmestrom in Schacht und Rampe resultiert in der Betriebsphase aus dem geothermischen Wärmefluss und klimatischen Einflüssen.

Der Wärmestrom wird bei der Auslegung technischer Komponenten berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Thermische Einwirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase. Der Wärmestrom verändert jedoch die Bedingungen von chemischen Prozessen, wie Metall- und Zementkorrosion (Kapitel 4.3.7 und 4.3.8), sowie Alterationen der Auflockerungszone (Kapitel 4.3.11) und bewirkt thermomechanische Spannungen (Kapitel 4.3.16) in den Rampeneinbauten.

4.3.16 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Schacht und Rampe)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Rampeneinbauten enthalten keine Tonminerale.

4.3.17 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone

Das FEP umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen in der ALZ durch Wetter und wässrige Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Alterationen in der ALZ können Zusammensetzung und Volumen von Mineralen bzw. Gesteinen in der Kontur verändern und mechanische Spannungen auf die Aufhängungen bzw. Befestigungen der Rampeneinbauten übertragen (Kapitel 4.3.9).

4.3.18 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die Volumenzunahme oder -abnahme von Fluiden und Feststoffen bei Temperaturänderungen.

Temperaturänderungen resultieren aus Geothermie und meteorologischen Bedingungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Thermische Volumenänderungen sind so gering, dass sie keine sicherheitstechnische Bedeutung haben.

4.4 Komponente „Wirtsgestein (Schacht und Rampe)"

Die Komponente beschreibt mechanische, hydraulische und chemisch-mineralogische Eigenschaften der Wirtsgesteine Steinsalz, Tongestein oder Kristallingestein im Umfeld von Schächten und Rampen.

Die Komponente „Wirtsgestein“ umfasst nur die intakte Gesteinsformation; nicht dazu gehören gebirgsmechanisch beanspruchte und plastisch verformte Gesteinsbereiche des Wirtsgesteins in der Kontur der Grubenbaue; diese werden mit der Komponente „Auflockerungszone“ in Kapitel 4.6 betrachtet.

4.4.1 Einwirkender Prozess: Abteufen und Ausbau des Schachtes

Das FEP beschreibt alle Abläufe beim Schachtabteufen und soweit erforderlich beim Einbringen des Schachtausbaus.

Durch den Ausbau soll der Schacht in der Betriebsphase stabilisiert und ein Lösungszutritt vermieden werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Auffahrungen beeinflussen die Spannungsverhältnisse im angrenzenden Gebirge (Kapitel 4.4.9) und es bilden sich aufgelockerte Gesteinsbereiche, siehe Komponente „Auflockerungszone“ (Kapitel 4.6). Außerdem kann es zur Reaktivierung oder Bildung von Störungen und Klüften kommen, wodurch sich hydraulische Wegsamkeiten im Wirtsgestein öffnen können.

Bläser: Beim Anfahren unerkannter Gasreservoire im Wirtsgestein, die unter hohem Druck stehen, können Gase schlagartig austreten.

Flutung der Grubenbaue: Beim Anfahren unerkannter Lösungsreservoire im Wirtsgestein können Lösungen in Grubenbaue vordringen**.**

Freisetzung chemotoxischer Stoffe: Beim Anfahren unerkannter Lösungsreservoire im Wirtsgestein können chemotoxische Stoffe – wie KWS – in Grubenbaue vordringen.

Freisetzung radioaktiver Stoffe: Beim Anfahren unerkannter Gasreservoire im Wirtsgestein können radioaktive Stoffe – z. B. Radon – in Grubenbaue vordringen.

Feuer: Beim Zutritt brennbarer Gase (CH_4, H_2) aus dem Wirtsgestein kann es durch Funken beim Abteufen zum Feuer im Schacht kommen.

Explosion: Bei Zutritten explosiver Gase aus dem Wirtsgestein bzw. Bildung explosiver Gasgemische kann es durch Funkenflug beim Abteufen oder Ausbauarbeiten im Schacht zur Explosion im Schacht kommen.

4.4.2 Einwirkender Prozess: Auffahren und Ausbauen der Rampe

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe beim Auffahren und soweit erforderlich beim Einbringen des Rampenausbaus.

Durch den Ausbau soll die Rampe in der Betriebsphase stabilisiert und ein starker Lösungszutritt vermieden werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Auffahrungen beeinflussen die Spannungsverhältnisse im angrenzenden Gebirge (Kapitel 4.4.9) und es bilden sich aufgelockerte Gesteinsbereiche, siehe Komponente „Auflockerungszone“ (Kapitel 4.6). Außerdem kann es zur Reaktivierung oder Bildung von Störungen und Klüften kommen, wodurch sich hydraulische Wegsamkeiten im Wirtsgestein öffnen können.

Bläser: Beim Anfahren unerkannter Gasreservoire im Wirtsgestein, die unter hohem Druck stehen, können Gase schlagartig austreten.

Flutung der Grubenbaue: Beim Anfahren unerkannter Lösungsreservoire im Wirtsgestein können Lösungen in Grubenbaue vordringen**.**

Freisetzung chemotoxischer Stoffe: Beim Anfahren unerkannter Lösungsreservoire im Wirtsgestein können chemotoxische Stoffe in Grubenbaue vordringen.

Freisetzung radioaktiver Stoffe: Beim Anfahren unerkannter Gasreservoire im Wirtsgestein können radioaktive Stoffe – z. B. Radon – in Grubenbaue vordringen.

Feuer: Beim Zutritt brennbarer Gase (CH_4, H_2) kann es durch Funken beim Auffahren und Ausbauen zum Feuer in der Rampe kommen.

Explosion: Bei Zutritten explosiver Gase aus dem Wirtsgestein bzw. Bildung explosiver Gasgemische kann es durch Funkenflug beim Abteufen oder Ausbauarbeiten zur Explosion in der Rampe kommen.

4.4.3 Einwirkender Prozess: Montage der Schacht- und Rampeneinbauten

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe beim Montieren der Einbauten im Schacht und in der Rampe. Die Einwirkungen beim Stoßen von Bohrungen werden in Kapitel 4.4.13 beschrieben.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der bestimmungsgemäße Betrieb wird einbezogen; diese Einwirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase. Unsachgemäße Montage der Einbauten in nicht ausgebauten Abschnitten kann mechanische Eigenschaften des Gebirges verändern und das Wirtsgestein konturnah entfestigen, siehe Komponente „Auflockerungszone“ (Kapitel 4.6). Außerdem kann es zur Reaktivierung oder Bildung von Störungen und Klüften kommen, wodurch sich hydraulische Wegsamkeiten im Wirtsgestein öffnen können.

Feuer: Bei der Montage können brennbare Gase zutreten und sich entzünden.

Explosion: Bei der Montage von Einbauten mittels Anker können sich kritische Gasgemische bilden, entzünden und eine Explosion verursachen.

Bläser: Bei der Montage von Einbauten mittels Anker können unerkannte Gasreservoire im Wirtsgestein, die unter hohem Druck stehen, geöffnet werden.

Freisetzung chemotoxischer Stoffe: Bei der Montage von Einbauten mittels Anker können unerkannte Lösungsreservoire geöffnet werden und chemotoxische Stoffe (KWS) austreten.

Freisetzung radioaktiver Stoffe: Bei der Montage von Einbauten mittels Anker können unerkannte Gasreservoire geöffnet werden und radioaktive Gase, z. B. Radon im Kristallin, austreten.

4.4.4 Einwirkender Prozess: Schachtbetrieb

Das FEP beschreibt die Arbeitsabläufe und Prozesse, die mit der Schachtförderung und daraus resultierenden Lasten zusammenhängen.

Lasten werden über Förder- und Transporteinrichtungen (Schachteinbauten) auf den Ausbau und das Gebirge übertragen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der bestimmungsgemäße Betrieb wird einbezogen; diese Einwirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase. Erschütterungen, Lasten etc. werden aber in nicht ausgebauten Schachtabschnitten auf das Wirtsgestein übertragen und bewirken Spannungsänderungen (Kapitel 4.4.9) und Auflockerungen (Kapitel 4.6).

4.4.5 Einwirkender Prozess: Rampenbetrieb

Das FEP umfasst Arbeitsabläufe und Prozesse, die mit der Förderung in der Rampe (Seilbahn) und den gekoppelten Lasten zusammenhängen.

Die Lasten werden über Einbauten auf den Ausbau und das Gebirge übertragen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der bestimmungsgemäße Rampenbetrieb wird einbezogen; diese Einwirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase. Die Erschütterungen, Lasten etc. werden aber in nicht ausgebauten Rampenabschnitten auf das Wirtsgestein übertragen und bewirken Spannungsänderungen (Kapitel 4.4.9) und Auflockerungen (Kapitel 4.6).

4.4.6 Einwirkender Prozess: Bewetterung

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Die Bewetterung wirkt in nicht ausgebauten Bereichen der Schächte und Rampen auf die ALZ und das angrenzende Gebirge.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch täglich und jahreszeitlich wechselnde Temperaturen der Wetter werden thermomechanische Spannungen ausgelöst (Kapitel 4.4.18). Die Einwirkungen haben für die Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

4.4.7 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die (elektro-)chemischen Reaktionen von Metallen in den Grubenbauen bei Gegenwart von wässrigen Lösungen oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

Im Wirtsgestein liegt kein Metall vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Im Wirtsgestein können sich mit Stahllinern ausgebaute Bohrungen, Stahlanker und Bohrgestänge befinden. Diese Metalle gehören nicht zur Komponente „Wirtsgestein". Sie werden der Komponente „Erkundungs- oder Überwachungsbohrung“ (Kapitel 4.10) zugeordnet.

4.4.8 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit Lösungen.

Im Wirtsgestein liegt kein Zement vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Im Wirtsgestein können sich mit Zement verfüllte Bohrungen oder injizierte Störungen und Klüfte befinden. Dieser Zement gehört nicht zur Komponente „Wirtsgestein“ und wird der Komponente „Erkundungs- oder Überwachungsbohrung“ (Kapitel 4.10) zugeordnet.

4.4.9 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustandes in Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten. Die Einwirkung thermomechanischer Beanspruchungen wird beim Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 4.4.18) behandelt.

Spannungsänderungen im Wirtsgestein können aus betrieblichen Lasten (z. B. Auffahrung) oder aus der Geosphäre (z. B. Erdbeben) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch Spannungsänderungen bilden sich aufgelockerte und entfestigte Gesteinsbereiche. Die Einwirkungen werden bei der Komponente „Auflockerungszone“ (Kapitel 4.6) beschrieben. Die Spannungsumlagerungen können aber auch zur Reaktivierung oder Bildung von Störungen und Klüften führen, wodurch sich hydraulische Wegsamkeiten im Wirtsgestein öffnen können.

Flutung der Grubenbaue: Durch Störungen bzw. Klüfte können unerkannte Lösungsreservoire im Wirtsgestein hydraulisch angeschlossen werden und Lösung in Grubenbaue vordringen.

Bläser: Durch Störungen bzw. Klüfte können Gase im Wirtsgestein, die unter hohem Druck stehen, schlagartig austreten.

Freisetzung chemotoxischer Stoffe: Durch Störungen bzw. Klüfte können unerkannte Fluidreservoire im Wirtsgestein angeschlossen werden und chemotoxische Stoffe austreten.

Freisetzung radioaktiver Stoffe: Durch Störungen bzw. Klüfte können unerkannte Gasreservoire im Wirtsgestein angeschlossen werden und radioaktive Gase – z. B. Radon – austreten.

4.4.10 Einwirkender Prozess: Konvergenz (Schacht)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im umgebenden Gebirge einsetzt.

Konvergenz kann Hohlräume, wie z. B. Störungen und Klüfte, im Wirtsgestein schließen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Konvergenz führt zu Spannungsänderungen und -umlagerungen im Wirtsgestein, siehe Prozess „Spannungsänderung“ (Kapitel 4.4.9). Infolge dessen bilden sich ALZ im konturnahen Gebirge, siehe die Komponente „Auflockerungszone“ (Kapitel 4.6).

4.4.11 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (Schacht und Rampe)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffen, aus dem Wirtsgestein in Grubenbereiche.

Durch die vorlaufende Erkundung und entsprechende Abdichtmaßnahmen sind keine starken Lösungs- und Gaszutritte zu unterstellen. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch Fluidzutritt in das Grubengebäude kann der Fluiddruck im Wirtsgestein sinken und die Spannungsverhältnisse beeinflussen, siehe Prozess „Spannungsänderung“ (Kapitel 4.4.9).

4.4.12 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (Schacht und Rampe)

Das FEP betrifft die Degradation organischer Bestandteile aus dem Wirtsgestein (z. B. Kohlenwasserstoffe).

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Zersetzung der Organika im Wirtsgestein führt zur Gasbildung. Dadurch kann der Fluiddruck im Wirtsgestein ansteigen und die Spannungsverhältnisse beeinflussen (Kapitel 4.4.9). Die Einwirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

4.4.13 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die Abläufe beim Stoßen und Verfüllen bzw. Verschließen von Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen.

Erkundungs- und Überwachungsbohrungen stellen potenzielle Wegsamkeiten im Wirtsgestein dar und werden qualifiziert verschlossen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Nicht anforderungsgerecht verfüllte Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen sind potenzielle Zutrittspfade für Fluide.

Flutung der Grubenbaue: Beim Anbohren unerkannter Lösungsreservoire im Wirtsgestein oder durch fehlerhaftes Verschließen der Bohrungen können Lösungen in Schächte und Rampen vordringen.

Bläser: Beim Anbohren unerkannter Gasreservoire im Wirtsgestein, die unter hohem Druck stehen, oder durch fehlerhaftes Verschließen einer Bohrung können Gase schlagartig austreten.

Freisetzung chemotoxischer Stoffe: Beim Anbohren unerkannter Lösungsreservoire oder durch fehlerhaftes Verschließen einer Bohrung können chemotoxische Stoffe in Grubenbaue vordringen.

Freisetzung radioaktiver Stoffe: Beim Anbohren von unerkannten Gasreservoiren oder durch fehlerhaftes Verschließen einer Bohrung können radioaktive Gase − z. B. Radon − in Grubenbaue vordringen.

Feuer: Beim Anbohren oder durch fehlerhaftes Verschließen einer Bohrung können brennbare Gase zutreten und sich durch Funken und Hitze entzünden.

Explosion: Beim Anbohren oder durch fehlerhaftes Verschließen einer Bohrung können sich kritische Gasgemische bilden, sich durch Funken und Hitze entzünden und eine Explosion verursachen.

4.4.14 Einwirkender Prozess: Einbringen des Schacht- und Rampenverschlusses

Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und Widerlager eines Schacht- oder Rampenverschlusses.

Erschütterungen während des Einbaus können das Wirtsgestein beeinflussen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der Einbau bedingt mechanische Belastungen der aufgelockerten Gesteinsbereiche, siehe Prozess „Spannungsänderung“ (Kapitel 4.4.9).

4.4.15 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die Übertragung von Wärme zwischen Komponenten und Grubenbauen. Der Wärmestrom in Schächten und Rampen resultiert in der Betriebsphase vor allem aus dem geothermischen Wärmefluss und klimatischen Einflüssen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Auswirkungen des Wärmestroms haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase. Der Wärmestrom beeinflusst jedoch die Konvergenz über das Verformungsverhalten von Steinsalz (Kapitel 4.4.10) und verändert die Bedingungen chemischer Prozesse.

4.4.16 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Schacht und Rampe)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet. Im eingespannten Zustand führt es zur Quelldruckänderung, während im freien Zustand eine Volumenänderung resultiert.

Tonminerale kommen als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Prozesse können die Spannungsverhältnisse und somit die mechanischen und hydraulischen Verhältnisse im Wirtsgestein bzw. auf Störungen und Klüften beeinflussen (Kapitel 4.4.9). Die Einwirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

4.4.17 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (Schacht und Rampe)

Die Alteration umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen der ALZ durch den Wetterstrom oder zutretende Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Alterationen bewirken Veränderungen von Zusammensetzung und Volumen der Minerale bzw. Gesteine und infolge dessen Spannungsänderungen und veränderte mechanische und hydraulische Eigenschaften. Einwirkungen werden bei der Komponente „Auflockerungszone“ (Kapitel 4.6) beschrieben.

4.4.18 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die Volumenzunahme oder -abnahme von Fluiden und Feststoffen bei Temperaturänderungen.

Temperaturänderungen resultieren aus der Geothermie und den meteorologischen Bedingungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Thermische Volumenänderungen sind so gering, dass sie keine sicherheitstechnische Bedeutung haben.

4.5 Komponente „Deck- und Nebengebirge"

Die Komponente beschreibt mechanische, thermische, hydraulische und chemisch-mineralogische Eigenschaften der Gesteinsformationen, die das Wirtsgestein überlagern und bis zur Erdoberfläche hin abdecken.

Die Komponente „Deck- und Nebengestein“ umfasst nur die Gebirgsbereiche außerhalb des Wirtsgesteins, die nicht durch den Bergbaubetrieb gestört sind. Zu den bergbaulich beanspruchten und verformten Bereichen in der Kontur der Grubenbaue siehe Komponente „Auflockerungszone“ (Kapitel 4.6).

4.5.1 Einwirkender Prozess: Abteufen und Ausbau des Schachtes

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe beim Schachtabteufen und beim Einbringen des Schachtausbaus.

Durch einen geschlossenen Ausbau soll der Schacht in der Betriebsphase stabilisiert und ein starker Lösungszutritt vermieden werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch das Abteufen werden die mechanischen und hydraulischen Eigenschaften des Gebirges in der Umgebung verändert. Es bilden sich aufgelockerte Gesteinsbereiche, die zur Komponente „Auflockerungszone“ (Kapitel 4.6) gehören. Außerdem kann es zur Reaktivierung oder Bildung von Störungen und Klüften kommen, wodurch sich hydraulische Wegsamkeiten im Deckgebirge öffnen.

Bläser: Beim Abteufen können Gasreservoire im Deckgebirge, die unter hohem Druck stehen, angefahren werden und zur schlagartigen Freisetzung der Gase führen.

Flutung der Grubenbaue: Beim Abteufen können Fluidreservoire angefahren werden und Lösungen bzw. Wässer in die Schächte vordringen.

Freisetzung chemotoxischer Stoffe: Beim Anfahren unerkannter Fluidreservoire im Deckgebirge können chemotoxische Stoffe – wie KWS – in Schächte vordringen.

Freisetzung radioaktiver Stoffe: Beim Anfahren unerkannter Gasreservoire im Deckgebirge können radioaktive Stoffe – z. B. Radon – in Schächte vordringen.

Feuer: Bei Zutritten brennbarer Gase (CH_4, H_2) aus dem Deckgebirge kann es durch Funken beim Abteufen oder Ausbauen im Schacht zum Feuer kommen.

Explosion: Bei Zutritten explosiver Gase aus dem Deck- und Nebengirge bzw. Bildung explosiver Gasgemische kann es durch Funkenflug beim Abteufen oder Ausbauarbeiten zur Explosion im Schacht kommen.

4.5.2 Einwirkender Prozess: Auffahren und Ausbauen der Rampe

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe beim Auffahren und beim Einbringen des Rampenausbaus.

Durch einen geschlossenen Ausbau soll die Rampe in der Betriebsphase stabilisiert und ein starker Lösungszutritt vermieden werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch das Auffahren werden die mechanischen und hydraulischen Eigenschaften des Gebirges in der Umgebung verändert. Es bilden sich aufgelockerte Gesteinsbereiche, die zur Komponente „Auflockerungszone“ (Kapitel 4.6) gehören. Außerdem kann es zur Reaktivierung oder Bildung von Störungen und Klüften kommen, wodurch sich hydraulische Wegsamkeiten im Deckgebirge öffnen.

Bläser: Beim Auffahren können Gasreservoire im Deckgebirge, die unter hohem Druck stehen, angefahren werden und zur schlagartigen Freisetzung der Gase führen.

Flutung der Grubenbaue: Beim Auffahren können Fluidreservoire angefahren werden und Lösungen bzw. Wässer in die Rampe vordringen.

Freisetzung chemotoxischer Stoffe: Beim Anfahren unerkannter Fluidreservoire im Deckgebirge können chemotoxische Stoffe – wie KWS – in die Rampe vordringen.

Freisetzung radioaktiver Stoffe: Beim Anfahren unerkannter Gasreservoire im Deckgebirge können radioaktive Stoffe – z. B. Radon – in die Rampe vordringen.

Feuer: Bei Zutritten brennbarer Gase (CH_4, H_2) aus dem Deckgebirge kann es durch Funkenflug beim Auffahren und Ausbauen zum Feuer in der Rampe kommen.

Explosion: Bei Zutritten explosiver Gase aus dem Deck- und Nebengebirge bzw. Bildung explosiver Gasgemische kann es durch Funkenflug beim Abteufen oder Ausbauarbeiten zur Explosion in der Rampe kommen.

4.5.3 Einwirkender Prozess: Montage der Schacht- und Rampeneinbauten

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe beim Montieren der Einbauten im Schacht und in der Rampe. Die Einwirkungen beim Stoßen von Bohrungen werden in Kapitel 4.5.13 beschrieben.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Schächte und Rampen sind im Deck- und Nebengebirge vollständig ausgebaut und Einbauten am Ausbau befestigt. Die Einwirkungen werden bei der Komponente „Schacht- und Rampenausbau“ (Kapitel 4.1) betrachtet. Sie haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

4.5.4 Einwirkender Prozess: Schachtbetrieb

Das FEP umfasst die Arbeitsabläufe und Prozesse, die mit der Schachtförderung und daraus resultierenden Lasten zusammenhängen.

Lasten werden über die Führungseinrichtungen (Schachteinbauten) auf den Ausbau übertragen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Schächte und Rampen sind im Deck- und Nebengebirge vollständig ausgebaut. Die Einwirkungen des Schachtbetriebs werden bei der Komponente „Schacht- und Rampenausbau“ (Kapitel 4.1) betrachtet.

4.5.5 Einwirkender Prozess: Rampenbetrieb

Das FEP umfasst Arbeitsabläufe und Prozesse, die mit der Förderung in der Rampe (Seilbahn) und den gekoppelten Lasten zusammenhängen.

Lasten werden über Einbauten auf den Ausbau übertragen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Schächte und Rampen sind im Deck- und Nebengebirge vollständig ausgebaut. Die Auswirkungen des Rampenbetriebs werden bei der Komponente „Schacht- und Rampenausbau“ (Kapitel 4.1) betrachtet.

4.5.6 Einwirkender Prozess: Bewetterung (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Bewetterung wirkt auf den Ausbau und die technischen Einbauten. Schächte und Rampen sind im Deck- und Nebengebirge vollständig ausgebaut. Da es keinen offenen Ausbau in diesem Bereich gibt, ist eine direkte Einwirkung auf das Deck- und Nebengebirge ausgeschlossen.

4.5.7 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die (elektro-)chemischen Reaktionen von Metallen in den Grubenbauen bei Gegenwart von wässrigen Lösungen oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

Im Deck- und Nebengebirge liegt kein Metall vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Im Deckgebirge können sich mit Stahllinern ausgebaute Bohrungen, Stahlanker oder Bohrgestänge befinden. Die Metalle gehören nicht zur Komponente „Deck- und Nebengebirge". Sie werden der Komponente „Erkundungs- oder Überwachungsbohrung“ (Kapitel 4.10) zugeordnet.

4.5.8 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit Lösungen.

Im Deck- und Nebengebirge liegt kein Zement vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Im Deckgebirge können sich mit Zement verfüllte Bohrungen oder injizierte Störungen und Klüfte befinden. Zement wird häufig zum Verschließen von Erkundungsbohrungen verwendet. Der Zement gehört nicht zur Komponente „Deck- und Nebengebirge“ und wird der Komponente „Erkundungs- oder Überwachungsbohrung“ (Kapitel 4.10) zugeordnet.

4.5.9 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustandes in Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten. Die Einwirkungen thermomechanischer Beanspruchungen werden beim Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 4.5.18) behandelt.

Spannungsänderungen im Deck- und Nebengebirge können aus betrieblichen Lasten (z. B. Auffahrung) oder aus der Geosphäre (z. B. Erdbeben) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Schächte und Rampen sind im Deck- und Nebengebirge vollständig ausgebaut. Der Ausbau bewirkt die mechanische Stabilisierung der Konturen und des umgebenden Deckgebirges. Spannungsänderungen durch den Schacht- oder Rampenbetrieb wirken nur über den Ausbau auf das Deckgebirge, siehe Kapitel 4.1.

4.5.10 Einwirkender Prozess: Konvergenz (Schacht und Rampe)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen und Hohlräumen im Gebirge verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im umgebenden Gebirge einsetzt.

Konvergenz kann Hohlräume, wie z. B. Störungen und Klüfte, im Deck- und Nebengebirge schließen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Schächte und Rampen sind im Deck- und Nebengebirge vollständig ausgebaut. Der Ausbau bewirkt die mechanische Stabilisierung der Konturen und des umgebenden Deckgebirges. Spannungsänderungen aus dem Betrieb von Schächten und Rampen wirken nur über den Ausbau auf das Deckgebirge, siehe Kapitel 4.1.

4.5.11 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffen, aus dem Deckgebirge in Grubenbereiche.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch Fluidzutritte in das Grubengebäude kann der Fluiddruck im Deckgebirge sinken und die Spannungsverhältnisse beeinflussen, siehe Prozess „Spannungsänderung“ (Kapitel 4.5.9). Schächte und Rampen sind im Deck- und Nebengebirge vollständig ausgebaut. Fluidzutritte und Spannungsänderungen im Deckgebirge wirken auf den Ausbau, siehe Kapitel 4.1.

4.5.12 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die Degradation organischer Bestandteile aus dem Deckgebirge (z. B. Kohlenwasserstoffe).

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Das Deckgebirge kann organische Bestandteile enthalten. Die Zersetzung der Organika führt zur Gasbildung. Dadurch kann der Fluiddruck im Deckgebirge ansteigen und die Spannungsverhältnisse beeinflussen (Kapitel 4.5.9). Die Zersetzung der Organika im Deck- und Nebengebirge verläuft relativ langsam, so dass diese Auswirkungen keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase haben.

4.5.13 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die Abläufe beim Stoßen und Verfüllen bzw. Verschließen von Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen.

Erkundungs- und Überwachungsbohrungen stellen potenzielle Wegsamkeiten im Deckgebirge dar und werden qualifiziert verschlossen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Nicht anforderungsgerecht verfüllte Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen sind potenzielle Zutrittspfade für Fluide.

Flutung der Grubenbaue: Beim Anbohren unerkannter Lösungsreservoire im Deckgebirge oder durch fehlerhaftes Verschließen einer Bohrung können Lösungen in Schächte und Rampen vordringen.

Bläser: Beim Anbohren unerkannter Gasreservoire im Wirtsgestein, die unter hohem Druck stehen, oder durch fehlerhaftes Verschließen einer Bohrung können Gase schlagartig austreten.

Freisetzung chemotoxischer Stoffe: Beim Anbohren unerkannter Lösungsreservoire oder durch fehlerhaftes Verschließen einer Bohrung können chemotoxische Stoffe in Grubenbaue vordringen.

Freisetzung radioaktiver Stoffe: Beim Anbohren von unerkannten Gasreservoiren oder durch fehlerhaftes Verschließen einer Bohrung können radioaktive Gase − z. B. Radon − in Grubenbaue vordringen.

Feuer: Beim Anbohren oder durch fehlerhaftes Verschließen einer Bohrung können brennbarer Gase zutreten und sich durch Funken und Hitze entzünden.

Explosion: Beim Anbohren oder durch fehlerhaftes Verschließen einer Bohrung können sich kritische Gasgemische bilden, sich durch Funken und Hitze entzünden und eine Explosion verursachen.

4.5.14 Einwirkender Prozess: Einbringen des Schacht- und Rampenverschlusses

Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und Widerlager eines Schacht- oder Rampenverschlusses.

Erschütterungen während des Einbaus können das Deckgebirge beeinflussen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Mit dem Einbau der Verschlüsse endet die Betriebsphase des Endlagerbergwerkes, siehe Komponente „Schacht- und Rampenverschluss“ (Kapitel 4.11). Die Einwirkungen eines unzureichenden Verschlusses auf die Betriebsphase werden bei dieser Komponente beschrieben.

4.5.15 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die Übertragung von Wärme zwischen Komponenten und Grubenbauen. Der Wärmestrom in Schacht und Rampen resultiert in der Betriebsphase vor allem aus dem geothermischen Wärmefluss und klimatischen Einflüssen.

Der Wärmestrom wird bei der Auslegung technischer Komponenten berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Schächte und Rampen sind im Deck- und Nebengebirge vollständig ausgebaut. Die Auswirkungen werden bei der Komponente „Schacht- und Rampenausbau“ (Kapitel 4.1) betrachtet. Sie haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

4.5.16 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Schacht und Rampe)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet. Im eingespannten Zustand führt es zur Quelldruckänderung, während im freien Zustand eine Volumenänderung resultiert.

Tonminerale kommen als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Prozesse können die Spannungsverhältnisse und somit die mechanischen und hydraulischen Verhältnisse im Deck- und Nebengebirge bzw. auf Störungen und Klüften beeinflussen (Kapitel 4.5.9). Die Einwirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

4.5.17 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (Schacht und Rampe)

Die Alteration umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen der ALZ durch den Wetterstrom oder zutretende Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Schächte und Rampen sind im Deck- und Nebengebirge vollständig ausgebaut. Die Alteration der ALZ durch zutretende Lösungen hat Einwirkungen auf das Deck- und Nebengebirge. Diese haben aber keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

4.5.18 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die Volumenzunahme oder -abnahme von Fluiden und Feststoffen bei Temperaturänderungen in Schacht und Rampen.

Die Temperaturänderungen resultieren aus den meteorologischen Bedingungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Schächte und Rampen sind im Deck- und Nebengebirge vollständig ausgebaut. Die geringen Temperaturschwankungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

4.6 Komponente „Auflockerungszone (Schacht und Rampe)"

Spannungsumlagerungen im Gebirge führen nach der Auffahrung von Schacht bzw. Rampe zur Ausbildung von konturnah begrenzten und geschädigten Gebirgsbereichen, die als Auflockerungszone (ALZ) bezeichnet werden. Die ALZ umfassen gebirgsmechanisch beanspruchte und verformte Bereiche des Wirtsgesteins oder des Deck- und Nebengebirges in der Kontur von Schacht und Rampe und sind durch verminderte mechanische Festigkeit bzw. entfestigtes Mineralgefüge und erhöhte hydraulische Leitfähigkeit gekennzeichnet. Die Ausdehnung der ALZ beträgt in der Regel mehrere Meter in Steinsalz und Tongestein sowie wenige Dezimeter in Kristallingestein.

Diese Komponente umfasst nicht die intakte Gesteinsformation, siehe Komponenten „Wirtsgestein“ (Kapitel 4.4) sowie „Deck- und Nebengebirge“ (Kapitel 4.5).

4.6.1 Einwirkender Prozess: Abteufen und Ausbau des Schachtes

Das FEP beschreibt alle Abläufe beim Schachtabteufen und beim Einbringen des Schachtausbaus.

Durch den Ausbau soll der Schacht in der Betriebsphase stabilisiert und ein Lösungszutritt vermieden werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Auffahrungen beeinflussen die Spannungsverhältnisse im Gebirge (Kapitel 4.6.9). Es können sich ALZ, Abschalungen und Löser bilden. Außerdem kann es zur Reaktivierung oder Bildung von Störungen und Klüften kommen, wodurch sich hydraulische Wegsamkeiten im Wirtsgestein und Deckgebirge öffnen können.

Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. In Schächten und Rampen werden die Fluidzutritte dem Wirtsgestein oder Deckgebirge zugeordnet (Kapitel 4.4 und 4.5).

4.6.2 Einwirkender Prozess: Auffahren und Ausbauen der Rampe

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe beim Auffahren und beim Einbringen des Rampenausbaus.

Durch den Ausbau soll die Rampe in der Betriebsphase stabilisiert und ein starker Lösungszutritt vermieden werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Das Einbringen des Ausbaus bedingt mechanische Beanspruchungen der aufgelockerten Gesteinsbereiche (Kapitel 4.6.9), wodurch sich die ALZ ausweiten kann. Es kann auch zur Reaktivierung oder zur Neubildung von Störungen und Klüften führen, wodurch sich hydraulische Wegsamkeiten im Wirtsgestein und Deckgebirge öffnen können.

4.6.3 Einwirkender Prozess: Montage der Schacht- und Rampeneinbauten

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe beim Montieren der Einbauten im Schacht und in der Rampe. Die Einwirkungen beim Stoßen von Bohrungen werden in Kapitel 4.6.13 beschrieben.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch die (unsachgemäße) Montage von Einbauten und Defekte in offen ausgebauten Schachtabschnitten können mechanische Eigenschaften des Ausbaus und des Gebir-

ges verändert und entfestigtes Gestein der ALZ weiter aufgelockert werden, resultierend in Spannungsänderungen, fortschreitender Entfestigung und Ausweitung von ALZ, siehe Prozess „Spannungsänderung“ (Kapitel 4.6.9).

4.6.4 Einwirkender Prozess: Schachtbetrieb

Das FEP beschreibt die Arbeitsabläufe und Prozesse, die mit der Schachtförderung und daraus resultierenden Lasten zusammenhängen.

Die Lasten werden durch Förder- und Transporteinrichtungen auf den Ausbau, die ALZ und das Gebirge übertragen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch Abläufe und Defekte in offen ausgebauten Schachtabschnitten können mechanische Eigenschaften des Ausbaus und Gebirges verändert und entfestigtes Gestein der ALZ weiter aufgelockert werden, resultierend in Spannungsänderungen, fortschreitender Entfestigung und Ausweitung von ALZ, siehe Prozess „Spannungsänderung“ (Kapitel 4.6.9).

4.6.5 Einwirkender Prozess: Rampenbetrieb

Das FEP beschreibt die Arbeitsabläufe und Prozesse, die mit dem Rampentransport und und daraus resultierenden Lasten zusammenhängen.

Die Lasten werden durch die Förder- und Transporteinrichtungen auf den Ausbau, die ALZ und das Gebirge übertragen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch Abläufe und Defekte in offen ausgebauten Rampenabschnitten können mechanische Eigenschaften des Ausbaus und Gebirges verändert und entfestigtes Gestein der ALZ weiter aufgelockert werden, resultierend in Spannungsänderungen, fortschreitender Entfestigung und Ausweitung von ALZ, siehe Prozess „Spannungsänderung“ (Kapitel 4.6.9).

4.6.6 Einwirkender Prozess: Bewetterung

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Die Bewetterung wirkt in offen ausgebauten Bereichen der Schächte und Rampen auf die ALZ und das angrenzende Gebirge.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch täglich und jahreszeitlich wechselnde Temperaturen der Wetter werden thermomechanische Spannungen ausgelöst (Kapitel 4.6.18). Luftfeuchtigkeit kondensiert an der Kontur oder die Wetter trocknen die Kontur und können Mineralumwandlungen begünstigen (Kapitel 4.6.17). Dadurch verändern sich mineralogische, mechanische und hydraulische Eigenschaften. Die Einwirkungen haben für die Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

4.6.7 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion (Schacht)

Das FEP beschreibt die (elektro-)chemischen Reaktionen von Metallen in den Grubenbauen bei Gegenwart von wässrigen Lösungen oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

In der ALZ liegt kein Metall vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die ALZ kann bei offenem Ausbau in Schächten und Rampen durch Anker und Stahlnetze gesichert sein, siehe Komponente „Schacht- und Rampenausbau“ (Kapitel 4.1). Diese Metalle gehören nicht zur Komponente „Auflockerungszone".

4.6.8 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

In der ALZ können sich mit Zement verfüllte Bohrungen oder injizierte Risse befinden. Der Zement in Bohrungen gehört nicht zur Komponente „Auflockerungszone“ und wird der Komponente „Erkundungs- oder Überwachungsbohrung“ (Kapitel 4.10) zugeordnet. Zement von Injektionen der Risse in ALZ kann korrodieren und Volumen- und Spannungsänderungen auslösen, siehe Prozess „Spannungsänderung“ (Kapitel 4.6.9).

4.6.9 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustandes in Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten. Die Einwirkung thermomechanischer Beanspruchung wird bei dem Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 4.6.18) behandelt.

Spannungsänderungen in der ALZ können aus betrieblichen Lasten (z. B. Auffahrung), chemischen Prozessen (z. B. Quellen von Baustoffen) oder der Geosphäre (z. B. litho- bzw. hydrostatischer Druck, Erdbeben) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch Spannungsänderungen und -umlagerungen erweitern sich aufgelockerte und entfestigte Gesteinsbereiche und sie können zur Reaktivierung oder Neubildung von Störungen und Klüften führen.

Abschalungen und Löser: In der Kontur von nicht ausgebauten Abschnitten der Schächte und Rampen führen fortschreitende Entfestigungen und Auflockerungen von Gesteinsbereichen zu Abschalungen und Lösern.

4.6.10 Einwirkender Prozess: Konvergenz (Schacht und Rampe)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen und Hohlräumen im Gebirge verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im umgebenden Gebirge einsetzt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Konvergenz verursacht Spannungsänderungen und -umlagerungen in der ALZ, siehe Prozess-FEP „Spannungsänderung“ (Kapitel 4.6.9). Sie führt zur Verstärkung und Ausweitung der Auflockerungen in den beanspruchten Gebirgsbereichen.

4.6.11 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (Schacht und Rampe)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssige Kohlenwasserstoffe, aus der ALZ in Grubenbaue.

Durch die vorlaufende Erkundung sind starke Lösungs- und Gaszutritte in Schacht und Rampe nicht zu erwarten. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Auswirkungen geringer Lösungs- und Gaszutritte haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase. Durch Fluidzutritte in die ALZ kann aber der Fluiddruck hinter geschlossenem Ausbau steigen und hydromechanische Spannungen hervorrufen (Kapitel 4.6.9). Fluidzutritte in die ALZ bewirken zudem Alterationsprozesse des Gesteins, siehe Prozesse „Alteration der Auflockerungszone“ (Kapitel 4.6.16).

Bei Zutritten brennbarer Gase (CH_4, H_2) ist es aufgrund des geringen Porenvolumens der ALZ unwahrscheinlich, dass ausreichend Sauerstoff für ein zünd- oder explosionsfähiges Gemisch vorliegt.

4.6.12 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (Schacht und Rampe)

Das FEP betrifft die Degradation organischer Bestandteile aus Versatz, Verschlüssen, ALZ und Wirtsgestein.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die ALZ kann nur geringe Mengen organische Bestandteile enthalten. Die Zersetzung dieser Organika führt u. a. zur geringfügigen Gasbildung. Die Einwirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

4.6.13 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die Abläufe beim Stoßen und Verfüllen bzw. Verschließen von Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen.

Erkundungs- und Überwachungsbohrungen stellen potenzielle Wegsamkeiten im Wirtsgestein sowie Deck- und Nebengebirge dar und werden qualifiziert verschlossen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Nicht anforderungsgerecht verfüllte Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen sind potenzielle Zutrittspfade für Lösungen und Gase. Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. In Schächten und Rampen werden die Fluidzutritte dem Wirtsgestein oder Deckgebirge zugeordnet (Kapitel 4.4 und 4.5).

4.6.14 Einwirkender Prozess: Einbringen des Schacht- und Rampenverschlusses

Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und Widerlager eines Schacht- oder Rampenverschlusses.

Vor dem Einbau wird die ALZ in der Kontur der Dichtelemente nachgeschnitten. Erschütterungen während des Einbaus können die ALZ beeinflussen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der Einbau bedingt mechanische Belastungen der aufgelockerten Gesteinsbereiche, siehe Prozess „Spannungsänderung“ (Kapitel 4.6.9). Mit dem Einbau der Verschlüsse endet die Betriebsphase des Endlagerbergwerkes, siehe Komponente „Schacht- und Rampenverschluss“ (Kapitel 4.11). Auswirkungen eines unzureichenden Verschlusses werden bei dieser Komponente beschrieben.

4.6.15 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die Übertragung von Wärme zwischen Komponenten und Grubenbauen. Der Wärmestrom in Schacht und Rampen resultiert in der Betriebsphase vor allem aus dem geothermischen Wärmefluss und klimatischen Einflüssen. Der Wärmestrom wird bei der Auslegung technischer Komponenten berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Auswirkungen des Wärmestroms haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase. Der Wärmestrom beeinflusst jedoch die Konvergenz über das Verformungsverhalten von Steinsalz (Kapitel 4.6.10), verändert die Bedingungen chemischer Prozesse, wie Alterationen in der ALZ (Kapitel 4.6.17), und bewirkt thermomechanische Spannungen (Kapitel 4.6.18).

4.6.16 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Schacht und Rampe)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet. Im eingespannten Zustand führt es zur Quelldruckänderung, während im freien Zustand eine Volumenänderung resultiert.

Tonminerale kommen als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Prozesse können die mechanischen und hydraulischen Verhältnisse in den ALZ beeinflussen sowie Volumen- und Spannungsänderungen auslösen (Kapitel 4.6.9). Spannungsumlagerungen bewirken eine Ausweitung der ALZ. Durch den Schacht- und Rampenausbau haben die Einwirkungen keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

4.6.17 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (Schacht und Rampe)

Die Alteration umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen der ALZ durch den Wetterstrom oder zutretende Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Alterationen können die mechanischen und hydraulischen Eigenschaften der ALZ beeinflussen und Änderungen von Zusammensetzungen, Volumen und Gefüge von Mineralen bzw. Gesteinen bewirken. Folge sind Spannungsänderung (Kapitel 4.6.9), Gesteinsentfestigung und Auflockerung.

Abschalungen und Löser: Fortschreitende Entfestigung und Auflockerung von Gesteinen in der Kontur von nicht ausgebauten Grubenbauen kann zu Abschalungen und Lösern führen.

4.6.18 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (Schacht und Rampe)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird Volumenzunahme bzw. -abnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen wird.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Thermische Volumenveränderung beeinflusst Struktur, Porenraum und Gefüge der ALZ. Es können sich Risse bilden, mechanische und hydraulische Eigenschaften verändern und ALZ ausweiten.

Abschalungen und Löser: Fortschreitende Entfestigung und Auflockerung von Gesteinen in der Kontur von nicht ausgebauten Grubenbauen bedingt Abschalungen und Löser.

4.7 Komponente „Lösungen (Schacht und Rampe)"

In den Schächten und Rampen können Lösungen vorkommen, die aus dem Gebirge zutreten, von der Erdoberfläche aus Gewässern oder Niederschlägen stammen, aus dem Wetterstrom kondensieren (Kondenswasser) und mit Bau- bzw. Betriebsstoffen eingebracht werden.

Geringe Lösungsmengen werden in den Schächten und Rampen toleriert, wenn sie den bestimmungsgemäßen Betrieb nicht beeinträchtigen. Es wird unterstellt, dass zutretende Lösung in Schacht und Rampe weitgehend gefasst und abgepumpt wird. Es verbleibt ggf. Lösung in den ALZ hinter geschlossenem Ausbau.

Lösungen können ein Transportmedium für die Ausbreitung von radioaktiven und chemotoxischen Stoffen sein.

4.7.1 Einwirkender Prozess: Abteufen und Ausbau des Schachtes

Das FEP beschreibt alle Abläufe beim Schachtabteufen und soweit erforderlich beim Einbringen des Schachtausbaus.

Durch den Ausbau sollen der Schacht in der Betriebsphase stabilisiert und starke Lösungszutritte vermieden werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch das Abteufen werden die hydraulischen Eigenschaften des Gebirges in der Umgebung verändert und ggf. Wegsamkeiten zwischen dem Schacht und Fluidreservoiren geöffnet. Durch vorlaufende Erkundung werden – soweit möglich − keine großen Reservoire angefahren bzw. stärkere Lösungszutritte durch Abdichtmaßnahmen verhindert. Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. In Schächten und Rampen werden Fluidzutritte dem Wirtsgestein oder Deckgebirge zugeordnet (Kapitel 4.4 und 4.5).

Mit den Baumaterialien für den Ausbau werden nur geringe Mengen Lösung eingebracht. Die Einwirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Wechselwirkungen zwischen Ausbau und Lösung können

jedoch Lösungsmenge und -zusammensetzung verändern und chemische Prozesse beeinflussen, z. B. die Prozesse „Metallkorrosion“ (Kapitel 4.7.7) und „Zementkorrosion“ (Kapitel 4.7.8). Der geschlossene Ausbau behindert den Lösungsfluss aus der ALZ in die Schächte.

4.7.2 Einwirkender Prozess: Auffahren und Ausbauen der Rampe

Das FEP beschreibt alle Abläufe beim Auffahren der Rampen und beim Einbringen des Rampenausbaus.

Durch den Ausbau sollen die Rampe in der Betriebsphase stabilisiert und starke Lösungszutritte vermieden werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch das Auffahren werden die hydraulischen Eigenschaften des Gebirges in der Umgebung verändert und ggf. Wegsamkeiten zwischen der Rampe und Fluidreservoiren geöffnet. Durch die vorlaufende Erkundung werden – soweit möglich − keine großen Reservoire angefahren bzw. starkere Lösungszutritte durch Abdichtmaßnahmen verhindert. Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. In Schächten und Rampen werden Fluidzutritte dem Wirtsgestein oder Deckgebirge zugeordnet (Kapitel 4.4 und 4.5).

Mit den Baumaterailien für den Ausbau werden geringe Mengen Lösung eingebracht. Die Auswirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Wechselwirkungen zwischen Ausbau und Lösungen können jedoch Lösungsmenge und -zusammensetzung verändern und chemische Prozesse beeinflussen, z. B. die Prozesse „Metallkorrosion“ (Kapitel 4.7.7) und „Zementkorrosion“ (Kapitel 4.7.8). Geschlossener Ausbau behindert den Lösungsabfluss aus der ALZ in die Rampe.

4.7.3 Einwirkender Prozess: Montage der Schacht- und Rampeneinbauten

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe beim Montieren der Einbauten im Schacht und in der Rampe. Die Einwirkungen beim Stoßen von Bohrungen werden in Kapitel 4.7.13 beschrieben.

In Schächten oder Rampen werden Einbauten im Gebirge oder am Ausbau befestigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch unsachgemäße Montage werden ggf. Wegsamkeiten zwischen Schacht bzw. Rampe und Fluidreservoiren geöffnet. Durch die vorlaufende Erkundung werden − soweit möglich − keine großen Reservoire angefahren bzw. stärkere Lösungszutritte durch Abdichtmaßnahmen verhindert. Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. In Schächten und Rampen werden Fluidzutritte dem Wirtsgestein oder Deckgebirge zugeordnet (Kapitel 4.4 und 4.5).

Mit der Montage werden geringe Mengen Lösung in Schacht bzw. Rampe eingebracht, wie z. B. durch Baustoffe und gelöste Betriebsstoffe. Die Einwirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

4.7.4 Einwirkender Prozess: Schachtbetrieb

Das FEP beschreibt die Arbeitsabläufe und Prozesse, die mit der Schachtförderung und daraus resultierenden Lasten zusammenhängen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Beim Schachtbetrieb werden ggf. geringe Mengen Lösung in den Schacht eingebracht, wie z. B. gelöste Betriebsstoffe. Die Einwirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

4.7.5 Einwirkender Prozess: Rampenbetrieb

Das FEP umfasst Arbeitsabläufe und Prozesse, die mit der Förderung in der Rampe (Seilbahn) und den gekoppelten Lasten zusammenhängen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Beim Rampenbetrieb werden ggf. geringe Mengen Lösung in die Rampe eingebracht, wie z. B. gelöste Betriebsstoffe. Die Einwirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

4.7.6 Einwirkender Prozess: Bewetterung

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Während der Betriebsphase müssen Schächte und Rampen bewettert werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Temperaturdifferenz zwischen Wetter, Ausbau und Gebirge kann zur Kondensation bzw. Verdunstung der Luftfeuchtigkeit führen. Lösungsmengen und -zusammensetzungen in Schächten und Rampen werden dadurch beeinflusst. Wetter nehmen sowohl kondensierte Luftfeuchte als auch Gebirgs- oder Baustofffeuchte durch Verdunstung auf oder geben diese durch Kondensation ab. Im Tongestein kann es zum Austrocknen der ALZ kommen. Dies wird durch den Ausbau eingeschränkt. Die Einwirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Eine veränderte Lösungsmenge und -zusammensetzung beeinflusst aber chemische Prozesse, wie z. B. die Prozesse „Metallkorrosion“ (Kapitel 4.7.7), „Zementkorrosion“ (Kapitel 4.7.8) und „Alteration der Auflockerungszone“ (Kapitel 4.7.17).

4.7.7 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion (Schacht)

Das FEP beschreibt die (elektro-)chemischen Reaktionen von Metallen mit Stoffen in Grubenbauen bei Gegenwart von wässriger Lösung oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

In Schächten bzw. Rampen können Metallkomponenten von Einbauten und Ausbau korrodieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Korrosionsprozesse verändern Lösungszusammensetzung und Lösungsmenge in den Schächten bzw. Rampen. Die Einwirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Eine veränderte Lösungsmenge und -zusammensetzung beeinflusst jedoch chemische Prozesse, z. B. die Prozesse „Zementkorrosion“ (Kapitel 4.7.8) und „Alteration der Auflockerungszone“ (Kapitel 4.7.17).

4.7.8 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion (Schacht)

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit Lösungen.

In Schächten bzw. Rampen können Betonkomponenten von Einbauten und Ausbau korrodieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Zementkorrosion verändert Lösungszusammensetzungen und Lösungsmengen in Schächten bzw. Rampen. Die Auswirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Lösungsmenge und -zusammensetzung beeinflussen jedoch chemische Prozesse, z. B. „Metallkorrosion“ (Kapitel 4.7.7), und „Alteration der Auflockerungszone“ (Kapitel 4.7.17).

4.7.9 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (Schacht und Rampe)

Das FEP umfasst u. a. Änderungen des Beanspruchungszustandes in Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch den Fluiddruck.

Fluiddruckänderungen können aus chemischen Prozessen (Gasbildung) oder aus der Geosphäre (z. B. hydrostatischer Druck) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Der anstehende Fluiddruck im Bereich der Schächte und Rampen kann variieren; er wirkt vor allem auf den Ausbau (Kapitel 4.1). Die Einwirkungen auf die Lösungsphase haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Die Einwirkungen auf Gase werden bei der Komponente „Gase“ beschrieben (Kapitel 4.9).

4.7.10 Einwirkender Prozess: Konvergenz (Schacht und Rampe)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen und Hohlräumen im Gebirge verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im umgebenden Gebirge einsetzt.

Konvergenz führt zur Abnahme des Hohlraum- und Porenvolumens. Dadurch können Lösungen verdrängt werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der anstehende Fluiddruck kann sich erhöhen und wirkt vor allem auf den Ausbau (Kapitel 4.1). Diese Einwirkungen auf Lösungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Einwirkungen auf Gase werden bei der Komponente „Gase“ beschrieben (Kapitel 4.9).

4.7.11 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gase und flüssige Kohlenwasserstoffe, in das Grubengebäude.

Durch vorlaufende Erkundung bzw. entsprechende Abdichtmaßnahmen sind starke Lösungs- und Gaszutritte in Schächte und Rampen nicht zu unterstellen. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. In Schächten und Rampen werden Fluidzutritte dem Wirtsgestein oder Deckgebirge zugeordnet (Kapitel 4.4 und 4.5). Die Zutritte verändern Lösungszusammensetzung und Lösungsmenge in Schächten und Rampen. Diese Einwirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase. Eine veränderte Lösungsmenge und -zusammensetzung beeinflusst aber chemische Prozesse, z. B. die Prozesse „Metallkorrosion“ (Kapitel 4.7.7), „Zementkorrosion“ (Kapitel 4.7.8), „Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen“ (Kapitel 4.7.16) und „Alteration der Auflockerungszone“ (Kapitel 4.7.17).

4.7.12 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die mikrobielle Degradation organischer Bestandteile der Lösungsphase und KWS.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Degradationsprozesse im Kontakt mit Lösung verändern Lösungszusammensetzung und Lösungsmenge. Diese Einwirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Eine veränderte Lösungsmenge und Lösungszusammensetzung beeinflusst jedoch chemische Prozesse, z. B. die Prozesse „Metallkorrosion“ (Kapitel 4.7.7), „Zementkorrosion“ (Kapitel 4.7.8) und „Alteration der Auflockerungszone“ (Kapitel 4.7.17).

4.7.13 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Schacht und Rampe)

Das FEP umfasst die Abläufe beim Stoßen und Verfüllen bzw. Verschließen von Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen.

Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen bilden Wegsamkeiten im Wirtsgestein sowie Deck-und Nebengebirge. Durch Verfüll- und Verschlußmaßnahmen werden diese abgedichtet.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Beim Stoßen und bei unzureichendem Verschließen von Bohrungen kann es zu Fluidzutritten kommen. Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. In Schächten und Rampen werden die Fluidzutritte dem Wirtsgestein oder Deckgebirge zugeordnet (Kapitel 4.4 und 4.5). Die Einwirkungen eines unzureichenden Verschlusses werden bei der Komponente „Erkundungs- oder Überwachungsbohrung“ (Kapitel 4.10) diskutiert.

4.7.14 Einwirkender Prozess: Einbringen des Schacht- und Rampenverschlusses

Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und Widerlager eines Schacht- oder Rampenverschlusses.

Die Verschlüsse werden erst kurz vor dem Schließen des Endlagerbergwerkes eingebaut.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Mit dem Einbau der Verschlüsse endet die Betriebsphase des Endlagerbergwerkes, siehe Komponente „Schacht- und Rampenverschluss“ (Kapitel 4.11). Die Einwirkungen eines unzureichenden Verschlusses auf die Betriebsphase werden bei dieser Komponente beschrieben.

4.7.15 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die Übertragung von Wärme zwischen Komponenten und Grubenbauen. Der Wärmestrom in Schacht und Rampen resultiert in der Betriebsphase vor allem aus dem geothermischen Wärmefluss und klimatischen Einflüssen. Der Wärmestrom wird bei der Auslegung technischer Komponenten berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Der Wärmestrom verändert die Temperatur und andere physikalische Eigenschaften der Lösungen. Die dadurch verursachten Änderungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

4.7.16 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Schacht und Rampe)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet. Im eingespannten Zustand führt es zur Quelldruckänderung, während im freien Zustand eine Volumenänderung resultiert.

Tonminerale kommen als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Durch die Aufnahme (Quellen) bzw. die Abgabe (Schrumpfen) von Wasser ändern sich die freien Wassermengen und der Fluiddruck. Die Einwirkungen auf die Komponente Lösungen haben u. a. wegen der geringen Wassermengen im Schacht und in der Rampe während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

4.7.17 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (Schacht und Rampe)

Die Alteration umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen in der ALZ durch Wetter oder zutretende Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Alterationsprozesse können Hydrochemie und Mineralbestand (Feststoffvolumen) in der ALZ verändern. Die Einwirkungen auf Lösungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Veränderungen der Hydrochemie wirken jedoch auf chemische Prozesse, z. B. die Prozesse „Metallkorrosion“ (Kapitel 4.7.7) und „Zementkorrosion“ (Kapitel 4.7.8), sowie Volumenänderungen auf den Fluiddruck.

4.7.18 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (Schacht und Rampe)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird die Volumenzunahme bzw. Volumenabnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen wird.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Thermische Volumenveränderungen können Anderungen des Fluiddrucks bewirken. Auf Grund der geringen Temperaturänderungen sind die Einwirkungen auf Lösungen gering und haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

4.8 Komponente „Flüssige Kohlenwasserstoffe (Schacht und Rampe)"

In den Schächten und Rampen können flüssige Kohlenwasserstoffe (KWS) vorkommen, die aus dem Gebirge (Ton-, Salzgestein) zutreten, aus dem Bitumen im Ausbau stammen oder als Betriebsmittel (Kraftstoffe, Schmierstoffe) in das Bergwerk gelangen.

Geringe KWS-Mengen werden in den Schächten und Rampen toleriert, wenn sie den bestimmungsgemäßem Betrieb nicht beeinträchtigen. Es wird unterstellt, dass zutretende KWS weitgehend gefasst und beseitigt werden. Es verbleiben ggf. KWS in den ALZ hinter einem geschlossenen Ausbau. KWS-Gemische (Kondensate) aus dem Wirtsgestein oder Deckgebirge entgasen bei Druckentlastung, d. h. sobald sie angefahren bzw. angebohrt werden.

Flüssige KWS können ein Transportmedium für die Ausbreitung von radioaktiven und chemotoxischen Stoffen sein.

Flüssige Kohlenwasserstoffe bilden eine Brandlast. Die daraus ggf. resultierenden EVI werden bei der Komponente „Wirtsgestein“ (Kapitel 4.4) abgeleitet.

4.8.1 Einwirkender Prozess: Abteufen und Ausbau des Schachtes

Das FEP beschreibt alle Abläufe beim Schachtabteufen und beim Einbringen des Schachtausbaus.

Durch den Ausbau sollen der Schacht in der Betriebsphase stabilisiert und starke Lösungszutritte vermieden werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch das Abteufen können die hydraulischen Eigenschaften des Gebirges in der Umgebung verändert und ggf. kohlenwasserstoffführende Gesteinsschichten mit dem Grubengebäude verbunden werden. Erkundete Vorkommen werden kontrolliert entleert oder qualifiziert abgedichtet. Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. In Schächten und Rampen werden Fluidzutritte dem Wirtsgestein oder Deckgebirge zugeordnet (Kapitel 4.4 und 4.5).

Mit dem Schachtausbau können geringe Mengen KWS als Asphaltdichtung eingebracht werden. Wechselwirkungen zwischen Lösungen und KWS können jedoch deren Menge und Zusammensetzung verändern und chemische Prozesse beeinflussen, z. B. die Prozesse „Metallkorrosion“ (Kapitel 4.8.7) und „Zementkorrosion“ (Kapitel 4.8.8). Der geschlossene Ausbau behindert den Abfluss flüssiger KWS aus der ALZ in die Schächte und Rampen.

4.8.2 Einwirkender Prozess: Auffahren und Ausbauen der Rampe

Das FEP beschreibt alle Abläufe beim Auffahren der Rampen und beim Einbringen des Rampenausbaus.

Durch den Ausbau sollen die Rampe in der Betriebsphase stabilisiert und starke Lösungszutritte vermieden werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch das Auffahren können die hydraulischen Eigenschaften des Gebirges in der Umgebung verändert und ggf. kohlenwasserstoffführende Gesteinsschichten mit dem Grubengebäude verbunden werden. Erkundete KWS-Vorkommen werden kontrolliert entleert oder qualifiziert abgedichtet. Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. In Schächten und Rampen werden Fluidzutritte dem Wirtsgestein oder Deckgebirge zugeordnet (Kapitel 4.4 und 4.5).

Mit dem Schachtausbau werden geringe Mengen KWS als Asphaltdichtung eingebracht. Wechselwirkungen zwischen Lösungen und KWS können jedoch deren Menge und Zusammensetzung verändern und chemische Prozesse beeinflussen, z. B. die Prozesse „Metallkorrosion“ (Kapitel 4.8.7) und „Zementkorrosion“ (Kapitel 4.8.8). Der geschlossene Ausbau behindert den Abfluss flüssiger KWS aus der ALZ in die Rampen.

4.8.3 Einwirkender Prozess: Montage der Schacht- und Rampeneinbauten

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe beim Montieren der Einbauten im Schacht und in der Rampe. Die Einwirkungen beim Stoßen von Bohrungen werden in Kapitel 4.8.13 beschrieben.

In Schächten oder Rampen werden Einbauten im Gebirge oder am Ausbau befestigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch unsachgemäße Montage der Schacht- und Rampeneinbauten werden ggf. Wegsamkeiten zwischen Schacht bzw. Rampe und Fluidreservoiren geöffnet. Fluidzutritte ins Grubengebäude werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. In Schächten und Rampen werden Fluidzutritte dem Wirtsgestein oder Deckgebirge zugeordnet (Kapitel 4.4 und 4.5). Bei der Montage werden geringe Mengen KWS in Schächte bzw. Rampen eingebracht, wie z. B. Schmierstoffe. Natürliche KWS und Schmierstoffe stellen potenzielle Brandlasten dar.

Feuer: Durch Zündfunken bei Montagearbeiten in Schacht bzw. Rampe können sich flüssige KWS entzünden.

Explosion: Flüssige KWS mit hohem Dampfdruck können kritische Gasgemische bilden und durch Zündfunken bei Montagearbeiten zur Explosion kommen.

4.8.4 Einwirkender Prozess: Schachtbetrieb

Das FEP beschreibt die Arbeitsabläufe und Prozesse, die mit der Schachtförderung und daraus resultierenden Lasten zusammenhängen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Beim Schachtbetrieb gelangen geringe Mengen an Schmierstoffen in Schächte. Diese stellen potenzielle Brandlasten dar.

Feuer: Durch Zündfunken beim Förderbetrieb können sich flüssige KWS entzünden.

Explosion: Flüssige KWS mit hohem Dampfdruck können kritische Gasgemische bilden und durch Zündfunken beim Förderbetrieb zur Explosion kommen.

4.8.5 Einwirkender Prozess: Rampenbetrieb

Das FEP beschreibt die Arbeitsabläufe und Prozesse, die mit der Rampenförderung und daraus resultierenden Lasten zusammenhängen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Beim Rampenbetrieb gelangen geringe Mengen an Schmierstoffen in Rampen. Diese stellen potenzielle Brandlasten dar.

Feuer: Durch Funkenflug beim Förderbetrieb können sich flüssige KWS entzünden.

Explosion: Flüssige KWS mit hohem Dampfdruck können kritische Gasgemische bilden und durch Zündfunken beim Förderbetrieb zur Explosion kommen.

4.8.6 Einwirkender Prozess: Bewetterung

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Während der Betriebsphase müssen Schächte und Rampen bewettert werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Falls flüssige KWS in Schächte oder Rampen gelangen, werden diese gefasst und entsorgt. Die Einwirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

4.8.7 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die (elektro-)chemischen Reaktionen von Metallen mit Stoffen in Grubenbauen bei Gegenwart von wässrigen Lösungen oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

In Schächten bzw. Rampen können Metallkomponenten von Einbauten und Ausbau korrodieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Korrosionsprozesse verändern Zusammensetzung und Menge flüssiger KWS in den Schächten bzw. Rampen nur marginal. Diese Einwirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

4.8.8 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit Lösungen.

In Schächten bzw. Rampen können Betonkomponenten von Einbauten und Ausbau korrodieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Korrosionsprozesse verändern Zusammensetzung und Menge flüssiger KWS in den Schächten bzw. Rampen nur marginal. Diese Einwirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

4.8.9 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (Schacht und Rampe)

Das FEP umfasst u. a. Änderungen des Beanspruchungszustandes in Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch den Fluiddruck.

Fluiddruckänderungen können aus chemischen Prozessen (Gasbildung) oder aus der Geosphäre (z. B. hydrostatischer Druck) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Der anstehende Fluiddruck im Bereich der Schächte und Rampen kann variieren; er wirkt vor allem auf den Ausbau (Kapitel 4.1) und beeinflusst Zutrittsraten. Diese Auswirkungen auf KWS haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Auswirkungen auf Gase werden bei der Komponente „Gase“ beschrieben (Kapitel 4.9).

4.8.10 Einwirkender Prozess: Konvergenz (Schacht und Rampe)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im umgebenden Gebirge einsetzt.

Konvergenz führt zur Abnahme des Hohlraum- und Porenvolumens. Dadurch können flüssige KWS verdrängt werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der anstehende Fluiddruck kann sich erhöhen und wirkt vor allem auf den Ausbau (Kapitel 4.1). Diese Auswirkungen auf flüssige KWS haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Auswirkungen auf Gase werden bei der Komponente „Gase“ beschrieben (Kapitel 4.9).

4.8.11 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gase und flüssige Kohlenwasserstoffe, in das Grubengebäude.

Durch vorlaufende Erkundung sind starke Lösungs- und Gaszutritte in Schächte und Rampen nicht zu unterstellen. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. In Schächten und Rampen werden Fluidzutritte dem Wirtsgestein oder Deckgebirge zugeordnet (Kapitel 4.4 und 4.5). Die Zutritte verändern die Zusammensetzung und Lösungsmenge in Schächten und Rampen. Diese Einwirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase. Eine veränderte Lösungsmenge und -zusammensetzung beeinflusst jedoch chemische Prozesse, z. B. die Prozesse „Metallkorrosion“ (Kapitel 4.8.7), „Zementkorrosion“ (Kapitel 4.8.8), „Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen“ (Kapitel 4.8.16) und „Alteration der Auflockerungszone“ (Kapitel 4.8.17).

4.8.12 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die mikrobielle Degradation organischer Bestandteile der Lösungsphase und KWS.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Degradationsprozesse im Kontakt mit KWS verändern Zusammensetzung und Menge der KWS-Gemische. Durch die mikrobielle Zersetzung langkettiger KWS erhöht sich z. B. langfristig der Anteil kurzkettiger, zumeist gasförmiger KWS. Die Auswirkungen auf flüssige KWS haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

4.8.13 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Schacht und Rampe)

Das FEP umfasst die Abläufe beim Stoßen und Verfüllen bzw. Verschließen von Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen.

Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen bilden beim Erstellen Wegsamkeiten zu Grubenbauen. Durch Verfüllen und Verschließen werden diese abgedichtet.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Beim Erstellen von Bohrungen können flüssige KWS zutreten. Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. In Schächten und Rampen werden Fluidzutritte dem Wirtsgestein oder Deckgebirge zugeordnet (Kapitel 4.4 und 4.5). Die Einwirkungen eines unzureichenden Verschlusses werden bei der Komponente „Erkundungs- oder Überwachungsbohrung“ (Kapitel 4.10) diskutiert.

4.8.14 Einwirkender Prozess: Einbringen des Schacht- und Rampenverschlusses

Das Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und Widerlager eines Schacht- oder Rampenverschlusses.

Die Verschlüsse werden erst kurz vor dem Schließen des Endlagerbergwerkes eingebaut.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Mit dem Einbau der Verschlüsse endet die Betriebsphase des Endlagerbergwerkes, siehe Komponente „Schacht- und Rampenverschluss“ (Kapitel 4.11). Die Auswirkungen eines unzureichenden Verschlusses auf die Betriebsphase werden bei dieser Komponente beschrieben.

4.8.15 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die Übertragung von Wärme zwischen Komponenten und Grubenbauen. Der Wärmestrom in Schacht und Rampen resultiert in der Betriebsphase vor allem aus dem geothermischen Wärmefluss und klimatischen Einflüssen. Der Wärmestrom wird bei der Auslegung technischer Komponenten berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der Wärmestrom verändert die Temperatur der Lösung. Dadurch verändert sich die Viskosität langkettiger KWS. Erhöhte Temperaturen fördern das Entgasen kurzkettiger KWS. Die Einwirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

4.8.16 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Schacht und Rampe)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet. Im eingespannten Zustand führt es zur Quelldruckänderung, während im freien Zustand eine Volumenänderung resultiert.

Tonminerale kommen als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Der Prozess kann den Fluiddruck der KWS verändern. Diese Einwirkungen auf die Komponente flüssige KWS haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

4.8.17 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (Schacht und Rampe)

Die Alteration umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen in der ALZ durch Wetter oder zutretende Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Alterationsprozesse können Hydrochemie und Mineralbestand (Feststoffvolumen) verändern. Die Auswirkungen auf flüssige KWS haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

4.8.18 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (Schacht und Rampe)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird die Volumenzunahme bzw. Volumenabnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen wird.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Thermische Volumenveränderungen können Änderungen des Fluiddrucks bewirken. Auf Grund der geringen Temperaturänderungen sind die Einwirkungen auf flüssige KWS gering und haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

4.9 Komponente „Gase (Schacht und Rampe)"

In den Schächten und Rampen können neben den Grubenwettern Gase vorkommen, die aus dem Gebirge zutreten oder durch Metallkorrosion bzw. mikrobielle Degradation im Grubengebäude gebildet werden.

Aus dem Gebirge zutretende Gase verbleiben ggf. in den ALZ hinter einem geschlossenen Ausbau. KWS-Kondensate aus dem Wirtsgestein oder Deckgebirge können bei Druckentlastung entgasen, d. h. sobald sie angefahren bzw. angebohrt werden.

Gase sind ein Transportmedium für die Ausbreitung von radioaktiven und chemotoxischen Stoffen.

Gase können eine Brandlast bilden. Die daraus ggf. resultierenden EVI werden bei der Komponente „Wirtsgestein“ (Kapitel 4.4) abgeleitet.

4.9.1 Einwirkender Prozess: Abteufen und Ausbau des Schachtes

Das FEP beschreibt alle Abläufe beim Schachtabteufen und beim Einbringen des Schachtausbaus.

Durch den Ausbau sollen der Schacht in der Betriebsphase stabilisiert und auch starke Gaszutritte (Bläser) vermieden werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch das Abteufen können die hydraulischen Eigenschaften des Gebirges in der Umgebung verändert und ggf. Gasreservoire im Gebirge mit den Schächten verbunden werden. Solche Gasspeicher können kontrolliert abgeblasen und Zutrittsstellen – vor Errichtung des Schachtausbaus – verschlossen werden. Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. In Schächten und Rampen werden Fluidzutritte dem Wirtsgestein oder Deckgebirge zugeordnet (Kapitel 4.4 und 4.5).

Geschlossener Ausbau verhindert oder verzögert ggf. den Abfluss von Gas aus der ALZ in die Schächte.

4.9.2 Einwirkender Prozess: Auffahren und Ausbauen der Rampe

Das FEP beschreibt alle Abläufe beim Auffahren der Rampen und beim Einbringen des Rampenausbaus.

Durch den Ausbau sollen die Rampe in der Betriebsphase stabilisiert und auch starke Gaszutritte vermieden werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch das Auffahren können die hydraulischen Eigenschaften des Gebirges in der Umgebung verändert und ggf. gasführende Gesteinsschichten (Ton-, Salinargesteine) mit dem Grubengebäude verbunden werden. Der Ausbau soll (ggf. in Kombination mit Zementinjektionen) einen Zutritt von Fluiden (inkl. KWS) zur Rampe soweit begrenzen, dass der Endlagerbetrieb nicht beeinträchtigt wird.

4.9.3 Einwirkender Prozess: Montage der Schacht- und Rampeneinbauten

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe beim Montieren der Einbauten im Schacht und in der Rampe. Die Einwirkungen beim Stoßen von Bohrungen werden in Kapitel 4.9.13 beschrieben.

In Schächten oder Rampen werden Einbauten im Gebirge oder im Ausbau befestigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch unsachgemäße Montage der Schacht- und Rampeneinbauten werden ggf. Wegsamkeiten zwischen Schacht bzw. Rampe und Gasspeichern geöffnet. Fluidzu-

tritte ins Grubengebäude werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. In Schächten und Rampen werden Fluidzutritte dem Wirtsgestein oder Deckgebirge zugeordnet (Kapitel 4.4 und 4.5). Gase können potenzielle Brandlasten darstellen.

Feuer: Durch Zündfunken bei Montagearbeiten in Schacht bzw. Rampe können sich brennbare Gase entzünden.

Explosion: Es können sich kritische Gasgemische bilden und durch Zündfunken bei Montagearbeiten zur Explosion kommen.

4.9.4 Einwirkender Prozess: Schachtbetrieb

Das FEP beschreibt die Arbeitsabläufe und Prozesse, die mit der Schachtförderung und daraus resultierenden Lasten zusammenhängen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Beim Schachtbetrieb können Funken gebildet und Hitze erzeugt werden.

Feuer: Durch Zündfunken oder Hitze beim Förderbetrieb können sich Gase entzünden.

Explosion: Kritische Gasgemische können durch einen Zündfunken beim Förderbetrieb explodieren.

4.9.5 Einwirkender Prozess: Rampenbetrieb

Das FEP beschreibt die Arbeitsabläufe und Prozesse, die mit dem Rampenbetrieb und daraus resultierenden Lasten zusammenhängen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Beim Rampenbetrieb können Funken gebildet und Hitze erzeugt werden.

Feuer: Durch Zündfunken oder Hitze beim Förderbetrieb können brennbare Gase entzündet werden.

Explosion: Kritische Gasgemische können durch einen Zündfunken beim Förderbetrieb explodieren.

4.9.6 Einwirkender Prozess: Bewetterung

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Während der Betriebsphase müssen Schächte und Rampen bewettert werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Gase aus dem Gebirge oder neu gebildete Gase durch Alterationsprozesse werden im Schacht oder in der Rampe durch den Wetterstrom rasch und stark verdünnt. Technische Probleme, die die Bewetterung einschränken, gehören zu den Prozessen „Schachtbetrieb“ bzw. „Rampenbetrieb“ (Kapitel 4.9.4 und 4.9.5).

4.9.7 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion (Schacht)

Das FEP beschreibt die (elektro-)chemischen Reaktionen von Metallen mit Stoffen in Grubenbauen bei Gegenwart von wässrigen Lösungen oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

In Schächten bzw. Rampen können Metallkomponenten von Einbauten und Ausbau korrodieren. Die anaerobe Metallkorrosion, bei der u. a. Wasserstoffgas entsteht, ist für die Schächte und Rampen nicht relevant.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Korrosionsprozesse verändern Zusammensetzung und Menge der Gasphase in Schächten bzw. Rampen marginal. Diese Einwirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

4.9.8 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit Lösungen.

In Schächten bzw. Rampen können Betonkomponenten von Einbauten und Ausbau korrodieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Korrosionsprozesse verändern Zusammensetzung und Menge der Gasphase in Schächten bzw. Rampen marginal. Diese Einwirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

4.9.9 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (Schacht und Rampe)

Das FEP umfasst u. a. Änderungen des Beanspruchungszustandes in Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch den Fluiddruck.

In den offenen Schächten und Rampen mit Wetterstrom werden keine signifikanten Fluiddruckänderungen auftreten.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Ggf. können sich zwischen Schacht-/Rampenausbau und Gebirge Fluide anreichern und der Fluiddruck kann steigen. Diese Einwirkungen auf Gase haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

4.9.10 Einwirkender Prozess: Konvergenz (Schacht und Rampe)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im umgebenden Gebirge einsetzt.

Konvergenz führt zur Abnahme des Hohlraum- und Porenvolumens. Dadurch können Gase verdrängt werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der hinter dem Schacht-/Rampenausbau anstehende Fluiddruck kann sich erhöhen. Diese Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

4.9.11 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffen, in das Grubengebäude.

Durch vorlaufende Erkundung und entsprechende Abdichtmaßnahmen sind starke Lösungs- und Gaszutritte in Schächte und Rampen nicht zu unterstellen. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. In Schächten und Rampen werden Fluidzutritte dem Wirtsgestein oder Deckgebirge zugeordnet (Kapitel 4.4 und 4.5).

4.9.12 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die mikrobielle Degradation organischer Bestandteile der Lösungsphase und KWS.

Die Zersetzung der Organika führt zur Gasbildung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Degradationsprozesse verändern die Zusammensetzung und Mengen der Gasphase. Durch mikrobielle Zersetzung werden Gase, z. B. Methan und CO_2 gebildet. Zudem werden langkettige KWS zu kurzkettigen, zumeist gasförmigen KWS umgesetzt. Es könnten brennbare und kritische Gasgemische entstehen. Aufgrund geringer Mengen an Organika, sehr langsamer Zersetzung dieser Organika (Asphalt, Kunststoff u. a.) und Bewetterung haben diese Auswirkungen auf Gase während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

In abgeworfenen Grubenbereichen können sich ggf. kritische Gasgemische bilden, die in Schächte und Rampen migrieren und sich durch Funken oder Hitze entzünden, siehe die Prozesse „Schachtbetrieb“ (Kapitel 4.9.4) und „Rampenbetrieb“ (Kapitel 4.9.5). Die Bewetterung wirkt dem entgegen.

4.9.13 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Schacht und Rampe)

Das FEP umfasst die Abläufe beim Stoßen und Verfüllen bzw. Verschließen von Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen.

Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen bilden beim Erstellen Wegsamkeiten zu Grubenbauen. Durch Verfüllen und Verschließen werden diese abgedichtet.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Beim Erstellen von Bohrungen kann es zu Gaszutritten kommen. Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. In Schächten und Rampen werden Fluidzutritte dem Wirtsgestein oder Deckgebirge zugeordnet (Kapitel 4.4 und 4.5). Die Auswirkungen eines unzureichenden Verschlusses werden bei der Komponente „Erkundungs- oder Überwachungsbohrung“ (Kapitel 4.10) diskutiert.

4.9.14 Einwirkender Prozess: Einbringen des Schacht- und Rampenverschlusses

Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und Widerlager eines Schacht- oder Rampenverschlusses.

Die Verschlüsse werden erst kurz vor dem Schließen des Endlagerbergwerkes eingebaut.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Mit dem Einbau der Verschlüsse endet die Betriebsphase des Endlagerbergwerkes, siehe Komponente „Schacht- und Rampenverschluss“ (Kapitel 4.11). Die Auswirkungen eines unzureichenden Verschlusses auf die Betriebsphase werden bei dieser Komponente beschrieben.

4.9.15 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die Übertragung von Wärme zwischen Komponenten und Grubenbauen. Der Wärmestrom in Schächten und Rampen resultiert in der Betriebsphase vor allem aus dem geothermischen Wärmefluss und klimatischen Einflüssen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der Wärmestrom verändert die Temperatur der Fluidphase. Erhöhte Temperaturen fördern das Entgasen dieser, insbesondere auch kurzkettiger KWS. Die Auswirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

4.9.16 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Schacht und Rampe)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet. Im eingespannten Zustand führt es zur Quelldruckänderung, während im freien Zustand eine Volumenänderung resultiert.

Tonminerale kommen als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Der Prozess kann den Fluiddruck der Gasphase verändern. Diese Auswirkungen auf die Komponente Gase haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

4.9.17 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (Schacht und Rampe)

Die Alteration umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen in der ALZ durch Wetter oder zutretende Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Alterationsprozesse können Hydrochemie und Mineralbestand (Feststoffvolumen) verändern. Die Auswirkungen auf die Gasphase haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

4.9.18 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (Schacht und Rampe)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird die Volumenzunahme bzw. Volumenabnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen wird.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Thermische Volumenveränderungen können Änderungen des Fluiddrucks bewirken. Auf Grund der geringen Temperaturänderungen sind die Auswirkungen auf Gase ge-

ring und haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

4.10 Komponente „Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Schacht und Rampe)"

Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen beschreiben offene und verschlossene Bohrungen im Wirtsgestein und Deckgebirge sowie deren chemische, hydraulische und mechanische Eigenschaften.

Erkundungsbohrungen für Schacht und Rampen werden nach der Erkundung zumeist überfahren. Wenn das nicht der Fall sein sollte, werden diese hochwertig verfüllt und verschlossen. Es werden folgende Verfüllstoffe unterstellt: Sorelbeton im Wirtsgestein Steinsalz, zement- oder tonhaltige Baustoffe in den Wirtsgesteinen Kristallin und Ton.

Bohrungen für die betriebliche Überwachung werden instrumentiert und bleiben während der Betriebsphase offen. Die Instrumentierung ist Teil der Komponente „Schachteinbauten“ und „Rampeneinbauten“ (Kapitel 4.2 und 4.3).

4.10.1 Einwirkender Prozess: Abteufen und Ausbau des Schachtes

Das FEP umfasst alle Abläufe bei der Auffahrung und beim Ausbau des Schachtes.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Vorlaufende Erkundungsbohrungen werden überfahren oder verfüllt und verschlossen. Die Einwirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

4.10.2 Einwirkender Prozess: Auffahren und Ausbauen der Rampe

Das FEP umfasst alle Abläufe beim Auffahren und Ausbau der Rampe.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Vorlaufende Erkundungsbohrungen werden überfahren oder verfüllt und verschlossen. Die Einwirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

4.10.3 Einwirkender Prozess: Montage der Schacht- und Rampeneinbauten

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe beim Montieren der Einbauten im Schacht und in der Rampe. Die Einwirkungen beim Stoßen von Bohrungen werden in Kapitel 4.10.13 beschrieben.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Erkundungsbohrungen werden überfahren oder sind verfüllt und verschlossen, Überwachungsbohrungen sind so angeordnet, dass sie nicht mit den Einbauten kollidieren.

4.10.4 Einwirkender Prozess: Schachtbetrieb

Das FEP beschreibt die Arbeitsabläufe und Prozesse, die mit der Schachtförderung und daraus resultierenden Lasten zusammenhängen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Erkundungsbohrungen werden überfahren oder sind verfüllt und verschlossen, Überwachungsbohrungen sind so angeordnet, dass sie den Schachtbetrieb nicht stören.

4.10.5 Einwirkender Prozess: Rampenbetrieb

Das FEP beschreibt die Arbeitsabläufe und Prozesse, die mit dem Rampenbetrieb und daraus resultierenden Lasten zusammenhängen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Erkundungsbohrungen werden überfahren oder sind verfüllt und verschlossen, Überwachungsbohrungen sind so angeordnet, dass sie den Rampenbetrieb nicht stören.

4.10.6 Einwirkender Prozess: Bewetterung

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Bohrungen werden nicht bewettert.

4.10.7 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion (Schacht und Rampe)

Das FEP beinhaltet die (elektro-)chemischen Reaktionen von Metallen mit den Stoffen der Umgebung bei Gegenwart von wässriger Lösung oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Beim Erstellen und Betrieb von Erkundungs- und Überwachungsbohrungen werden Metallteile, wie Verrohrungen, Bohrgestänge, Packer etc., verwendet.

Versagen des Verschlusses einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung: Die Metallteile, die in der Bohrung verbleiben, können korrodieren, Spannungsrisse in der Verfüllung bilden und die Durchlässigkeit des Verschlusses erhöhen.

4.10.8 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit wässrigen Lösungen.

Bei der Verfüllung von Erkundungsbohrungen werden u. a. zementbasierte Baustoffe verwendet. Die Änderung der Hydrochemie kann die Korrosionsbeständigkeit beeinflussen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Zementkorrosion kann die Bohrungsverfüllung beschädigen.

Versagen des Verschlusses einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung: Hohe Zementkorrosionsraten können die Durchlässigkeit des Bohrlochverschlusses erhöhen.

4.10.9 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustandes in Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten. Die Einwirkung thermomechanischer Beanspruchungen wird beim Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 4.10.18) behandelt.

Spannungsänderungen im Wirtsgestein können aus betrieblichen Lasten (z. B. durch Auffahrung) oder aus der Geosphäre (z. B. Erdbeben) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Spannungsumlagerungen bewirken Änderungen mechanischer und hydraulischer Eigenschaften von verfüllten Bohrungen.

Versagen des Verschlusses einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung: Spannungen können Risse in der Bohrlochverfüllung bilden und die Durchlässigkeit des Verschlusses erhöhen.

4.10.10 Einwirkender Prozess: Konvergenz (Schacht und Rampe)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen (incl. Bohrungen) verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerung nach der Auffahrung / Bohrung durch Kriechprozesse im Gebirge einsetzt.

Konvergenz verringert das Hohlraum- und Porenvolumen der Verfüllung, erhöht dessen Einspannung und schließt die ALZ.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Konvergenzentwicklung im bestimmungsgemäßen Betrieb ist eine Grundlage der Auslegungen. Die Porosität und Permeabilität verringern sich, der Verfüllmaterialdruck und die Einspannung erhöhen sich. Daraus resultieren Änderungen der mechanischen und hydraulischen Eigenschaften der Verfüllung.

Versagen des Verschlusses einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung: Falls die Konvergenzrate geringer ist als erwartet, kann sich das Schließen der Kontakt- und Auflockerungszone verzögern und die Durchlässigkeit des Verschlusses erhöhen.

4.10.11 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (Schacht und Rampe)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffen, aus dem Gebirge in Bohrungen, Schächte und Rampen.

Durch die vorlaufende Erkundung und entsprechende Abdichtmaßnahmen sind starke Lösungs- und Gaszutritte über die Bohrungen nicht zu unterstellen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Aus Klüften bzw. Störungen oder dem Porenraum der Gesteine können Fluide in die Bohrungen zutreten. Geringe Lösungszutritte haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase. Sie beeinflussen chemische Prozesse, wie „Metallkorrosion“ (Kapitel 4.10.7), „Zementkorrosion“ (Kapitel 4.10.8), „Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen“ (Kapitel 4.10.16) und „Alteration der Auflockerungszone“ (Kapitel 4.10.17). Bentonit bzw. Zement eines Dichtelements können auch erodiert werden.

Versagen des Verschlusses einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung: Ein Zutritt von Fluiden kann die Verfüllmaterialien erodieren bzw. alterieren und so zu einem Versagen des Verschlusses einer Bohrung führen.

Feuer: Beim Zutritt brennbarer Gase (CH_4, H_2) können Zündfunken ein Feuer in der Bohrung auslösen.

Explosion: Beim Zutritt brennbarer Gase (CH_4, H_2) können sich kritische Gasgemische bilden und durch Zündfunken in der Bohrung explodieren.

Die Hydrochemie der zutretenden Lösungen beeinflusst die Korrosion. Dabei handelt es sich um eine indirekte Auswirkung auf die verschiedenen Bohrungskomponenten, deren Einwirkungen in den Prozess-FEP „Metallkorrosion“ (Kapitel 4.10.7) und „Zementkorrosion“ (Kapitel 4.10.8) beschrieben werden.

4.10.12 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (Schacht und Rampe)

Das FEP betrifft die Degradation organischer Bestandteile von Endlagerkomponenten (z. B. Abfälle, Kabel, Versatz, Verschlüsse) und Wirtsgestein/Deckgebirge.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Bohrungen können Kunststoffkomponenten (z. B. Kabel) oder tonhaltiges Verfüllmaterial kann organische Bestandteile enthalten. Die sehr langsame Alteration dieser Komponenten hat keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

4.10.13 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Schacht und Rampe)

Das FEP umfasst die Abläufe beim Stoßen und Verfüllen bzw. Verschließen von Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch das Verfüllen werden Hohlräume geschlossen, die Kontur stabilisiert und die hydraulische Wegsamkeit abgedichtet.

Versagen des Verschlusses einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung: Menschliche und technische Fehler bei der Erstellung können die Dichtfunktion des Bohrlochverschlusses beeinträchtigen.

4.10.14 Einwirkender Prozess: Einbringen des Schacht- und Rampenverschlusses

Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und Widerlager eines Schacht- oder Rampenverschlusses.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Verschlüsse werden erst kurz vor dem Schließen des Endlagerbergwerkes eingebaut. Zu diesem Zeitpunkt sind alle Erkundungs- und Überwachungsbohrungen verfüllt.

4.10.15 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (Schacht und Rampe)

Der FEP beschreibt die Übertragung von Wärme zwischen den Komponenten und Grubenbauen. Der Wärmestrom in Schächten und Rampen wird durch die Geothermie und klimatische Einflüsse (Bewetterung) bestimmt. Die Wärmeentwicklung wird bei der Auslegung technischer Komponenten berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der Wärmestrom verändert die Temperatur. Dadurch verändern sich die Bedingungen chemischer Prozesse, wie die Prozesse „Metallkorrosion“ (Kapitel 4.10.7), „Zementkorrosion“ (Kapitel 4.10.8) und „Alteration der Auflockerungszone" (Kapitel 4.10.17). Daraus resultieren außerdem Volumenveränderungen, siehe Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 4.10.18). Diese Auswirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

4.10.16 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Schacht und Rampe)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet. Im eingespannten Zustand führt es zur Quelldruckänderung, während im freien Zustand eine Volumenänderung resultiert.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Bei der Verfüllung von Erkundungsbohrungen werden u. a. tonhaltige Materialien verwendet. Das Schrumpfen und Quellen verändert hydraulische und mechanische Eigenschaften der Verfüllung und der Verschlüsse.

Versagen des Verschlusses einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung: Menschliche Fehler bei der Einschätzung des Quellens können die Dichtfunktion beeinträchtigen.

4.10.17 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone

Das FEP umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen in der ALZ durch Wetter und wässrige Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Erkundungs- und Überwachungsbohrungen durchteufen die ALZ. Die Alteration der ALZ hat keine direkte Auswirkung auf den Verschluss der Bohrungen.

4.10.18 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (Schacht und Rampe)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird die Volumenzunahme bzw. Volumenabnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen wird.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die thermisch induzierten Volumenänderungen können in den Bohrungen nur nahe der Schachtkontur durch die Bewetterung auftreten. Die lokale Beeinträchtigung der Bohrlochabdichtung in diesem Bereich hat wegen der geringen Temperaturdifferenzen in diesem Teilsystem keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

4.11 Komponente „Schacht- und Rampenverschluss"

Die Schacht- und Rampenverschlüsse bestehen aus Dichtelementen, die redundant ausgelegt sind, und Widerlagern. Das FEP beschreibt deren thermische, mechanische, chemisch-mineralogische und hydraulische Eigenschaften. Es werden folgende Baustoffe unterstellt: Sorelbeton, zementbasierte Baustoffe, Bentonit, Schotter und Asphalt.

Mit dem Einbau dieser Verschlüsse ist das Abwerfen der Grubenräume des Endlagerbergwerkes abgeschlossen. Der untertägige Betrieb ist danach beendet. Demnach können sich die Auswirkungen auf die Betriebssicherheit nur auf einen unzureichenden Schacht- bzw. Rampenverschluss beziehen. Die diesbezüglichen Anforderungen an die Verschlüsse betreffen (auch) die Verhinderung von Lösungszuflüssen.

4.11.1 Einwirkender Prozess: Abteufen und Ausbau des Schachtes

Das FEP umfasst alle Abläufe bei der Auffahrung und Ausbau des Schachtes.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind zeitlich weit entkoppelt.

4.11.2 Einwirkender Prozess: Auffahren und Ausbauen der Rampe

Das FEP umfasst alle Abläufe beim Auffahren und dem Ausbau der Rampe.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind zeitlich weit entkoppelt.

4.11.3 Einwirkender Prozess: Montage der Schacht- und Rampeneinbauten

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe beim Montieren der Einbauten im Schacht und in der Rampe.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind zeitlich weit entkoppelt.

4.11.4 Einwirkender Prozess: Schachtbetrieb

Das FEP beschreibt die Arbeitsabläufe und Prozesse, die mit der Schachtförderung und daraus resultierenden Lasten zusammenhängen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind zeitlich entkoppelt. Nach dem Einbau der Verschlüsse findet kein Schachtbetrieb mehr statt.

4.11.5 Einwirkender Prozess: Rampenbetrieb

Das FEP beschreibt die Arbeitsabläufe und Prozesse, die mit dem Rampentransport und daraus resultierenden Lasten zusammenhängen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind zeitlich entkoppelt. Nach dem Einbau der Verschlüsse findet kein Rampentransport mehr statt.

4.11.6 Einwirkender Prozess: Bewetterung

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind zeitlich entkoppelt. Nach dem Einbau der Verschlüsse findet keine Bewetterung mehr statt.

4.11.7 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion (Schacht und Rampe)

Das FEP beinhaltet die (elektro-)chemischen Reaktionen von Metallen mit den Stoffen der Umgebung bei Gegenwart von wässriger Lösung oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Verschlüsse enthalten keine Metalle.

4.11.8 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit wässrigen Lösungen.

Für die Verschlüsse werden u. a. zementbasierte Baustoffe verwendet. Die Änderung der Hydrochemie kann die Korrosionsbeständigkeit beeinflussen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Es werden ggf. Widerlager aus zementbasiertem Beton errichtet. Die Korrosion des Widerlagers kann die Einspannung der Dichtelemente reduzieren. Die Auswirkungen werden bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen des Schacht- oder Rampenverschlusses: Hohe Korrosionsraten können das Widerlager beschädigen und die Dichtfunktion des Verschlusses beeinträchtigen.

4.11.9 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustands in den Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten. Die Einwirkung thermomechanischer Beanspruchungen wird beim Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 4.11.18) behandelt.

Spannungsänderungen in technische Komponenten können aus betrieblichen Lasten (z. B. Auffahrung), chemischen Prozessen (z. B. Quellen von Baustoffen) oder aus der Geosphäre (z. B. litho- bzw. hydrostatischer Druck, Erdbeben) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Spannungsumlagerungen bewirken Änderungen der mechanischen und hydraulischen Eigenschaften dieser Verschlüsse und können zur Rissbildung oder Kanalisierung in Bauwerken führen.

Versagen des Schacht- oder Rampenverschlusses: Spannungsänderungen, die Entfestigungen, Risse und Kanalisierungen bilden, können die Dichtfunktion beein-

trächtigen. Falls der Verschluss nicht ordnungsgemäß eingebaut ist, ist die Betriebsphase noch nicht beendet.

4.11.10 Einwirkender Prozess: Konvergenz (Schacht und Rampe)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im umgebenden Gebirge einsetzt.

Konvergenz verringert das Hohlraum- und Porenvolumen des Verschlusses, erhöht dessen Einspannung und schließt die ALZ.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Konvergenzentwicklung im bestimmungsgemäßen Betrieb ist eine Grundlage der Auslegungen. Porosität und Permeabilität verringern sich, Versatzdruck und Einspannung der Verschlüsse erhöhen sich. Daraus resultieren Änderungen der mechanischen und hydraulischen Eigenschaften der Verschlüsse.

Versagen des Schacht- oder Rampenverschlusses: Falls die Konvergenzraten geringer sind als erwartet, kann sich das Schließen der Kontaktzone verzögern und die Dichtfunktion des Verschlusses beeinträchtigen.

4.11.11 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (Schacht und Rampe)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssige Kohlenwasserstoffen, in die Grubenbereiche.

Durch vorlaufende Erkundung und entsprechende Abdichtmaßnahmen sind starke Lösungs- und Gaszutritte nicht zu unterstellen. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Aus einer Kluft bzw. Störung können Lösungen bzw. Wässer zutreten und Bentonite eines Dichtelements erodieren und alterieren bzw. den Beton der Widerlager auswaschen.

Versagen des Schacht- oder Rampenverschlusses: Erosion der Bauwerke kann die Dichtfunktion des Verschlusses beeinträchtigen.

Auswirkungen der veränderten Hydrochemie haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Sie beeinflussen aber chemische Prozesse, wie die Prozesse „Zementkorrosion“ (Kapitel 4.11.8), „Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen“ (Kapitel 4.11.16) und „Alteration der Auflockerungszone“ (Kapitel 4.11.17).

4.11.12 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (Schacht und Rampe)

Das FEP betrifft die Degradation organischer Bestandteile aus Versatz, Verschlüssen und Wirtsgestein.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Für die Verschlüsse in den Wirtsgesteinen Ton und Kristallin sind u. a. Dichtelemente aus Asphalt vorgesehen. Die Degradation von Asphalt verläuft sehr langsam und die hydraulischen und mechanischen Eigenschaften verändern sich erst nach der Betriebsphase in relevantem Ausmaß. Diese Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

4.11.13 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Schacht und Rampe)

Das FEP umfasst die Abläufe beim Stoßen und Verfüllen bzw. Verschließen von Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der Bohransatz kann im Einbauort eines Verschlusses anschlagen, aber die Bohrungen werden vor dem Errichten der Verschlüsse überfahren oder verfüllt und verschlossen.

Versagen des Schacht- oder Rampenverschlusses: Technische Fehler beim Verschließen einer Bohrung können eine Umläufigkeit des Verschlusses bilden und dessen Dichtfunktion beeinträchtigen. Falls der Verschluss nicht ordnungsgemäß eingebaut ist, ist die Betriebsphase noch nicht beendet.

4.11.14 Einwirkender Prozess: Einbringen des Schacht- und Rampenverschlusses

Das FEP umfasst die Abläufe beim Einbau von Dichtelementen und Widerlagern in Strecken etc.

Schacht- und Rampenverschlüsse werden zum Abschluss des Abwerfens des Grubengebäudes eingebaut. Die Bauwerke stabilisieren die Kontur und verhindern Lösungsflüsse über Schächte bzw. Rampen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der geschlossene Ausbau muss entfernt (geraubt) werden, um die Schacht- bzw. Rampenverschlüsse anforderungsgerecht einzubauen. Dabei werden Spannungsumlagerungen im umgebenden Gebirge ausgelöst, die u. U. zum Einsturz des geraubten Abschnitts führen.

Versagen des Schacht- oder Rampenverschlusses: Menschliche Fehler bei der Auslegung und der Interpretation der geologischen Bedingungen und technische Fehler beim Einbau können die Dichtfunktion beeinträchtigen. Falls der Verschluss nicht ordnungsgemäß eingebaut ist, ist die Betriebsphase noch nicht beendet.

4.11.15 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die Übertragung von Wärme zwischen den Komponenten und Grubenbauen. Der Wärmestrom in den Schächten und Rampen wird von der Geothermie und klimatischen Einflüssen bestimmt. Die Wärmeentwicklung wird bei der Auslegung technischer Komponenten berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Der Wärmestrom verändert die Temperatur und dadurch auch die Bedingungen chemischer Prozesse. Diese Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

4.11.16 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Schacht und Rampe)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet. Im

eingespannten Zustand führt es zur Quelldruckänderung, während im freien Zustand eine Volumenänderung resultiert.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Für die Dichtelemente wird u. a. Bentonit verwendet. Durch Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen verändern sich Quelldruck, Mineralgefüge und Einspannung des Bauwerks sowie hydraulische und mechanische Eigenschaften.

Versagen des Schacht- oder Rampenverschlusses: Menschliche Fehler bei der Einschätzung des Quellvermögens von Bentonit können die Dichtfunktion beeinträchtigen.

4.11.17 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone

Das FEP umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen in der ALZ durch Wetter und wässrige Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Alterationen in der ALZ können Entfestigungen im Einbauort von Dichtelementen bewirken und hydraulische und mechanische Eigenschaften der Verschlüsse verändern.

Versagen des Schacht- oder Rampenverschlusses: Entfestigungen in der ALZ können die Dichtfunktion beeinträchtigen. Falls der Verschluss nicht ordnungsgemäß eingebaut ist, ist die Betriebsphase noch nicht beendet.

4.11.18 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (Schacht und Rampe)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird die Volumenzunahme bzw. Volumenabnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen wird. Die Volumenänderungen werden bei der Auslegung technischer Komponenten berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Thermische Volumenänderungen beeinflussen Porenraum und Mineralgefüge der Bauwerke und bilden ggf. Risse. Dadurch können sich hydraulische und mechanische Eigenschaften der Verschlüsse verändern. Aufgrund der geringen Temperaturdifferenzen haben die Einwirkungen keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

4.12 Komponente „Endlagergebinde und Transferbehälter (Schacht und Rampe)"

Die Komponente umfasst die Endlagergebinde und Transferbehälter einschließlich deren Materialien und Eigenschaften während des Transports. Endlagergebinde, die ohne Transferbehälter transportiert werden, sind hinreichend abgeschirmt. Transferbehälter gewährleisten die Abschirmung vor ionisierender Strahlung während des Transports nicht hinreichend abgeschirmter Endlagerbehälter.

Es werden folgende Behältermaterialien angenommen: Stahl, Gusseisen, Kupfer (nur Kristallin). Als Moderatormaterial wird z. B. Polyethylen eingesetzt. Die Gebinde enthalten weiterhin Metalle, Borosilikatglas etc.

Aufgrund der großen Zahl eingelagerter Endlagerbehälter ist nicht auszuschließen, dass eine geringe Anzahl von Behältern auf Grund von Fertigungs- und Messfehlern unerkannte Defekte aufweist. Die Einlagerung undichter Behälter ist auf Grund der radiologischen Überwachung aber als sehr gering wahrscheinlich einzuschätzen. Ohne weitere Einwirkung werden die Behälter als dicht angenommen.

4.12.1 Einwirkender Prozess: Abteufen und Ausbau des Schachtes

Das FEP umfasst alle Abläufe bei Abteufen und Ausbau des Schachtes.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt. Es befinden sich zum Zeitpunkt des Abteufens und des Ausbaus noch keine Endlagergebinde und Transferbehälter im Schacht.

4.12.2 Einwirkender Prozess: Auffahren und Ausbauen der Rampe

Das FEP umfasst alle Abläufe bei der Auffahrung und dem Ausbau der Rampe.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt. Es befinden sich zum Zeitpunkt der Auffahrung und des Ausbaus noch keine Endlagergebinde auf der Rampe.

4.12.3 Einwirkender Prozess: Montage der Schacht- und Rampeneinbauten

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe beim Montieren der Einbauten im Schacht und in der Rampe. Die Einwirkungen beim Stoßen von Bohrungen werden in Kapitel 4.12.13 beschrieben.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt. Es findet kein Gebindetransport während der Montage statt.

4.12.4 Einwirkender Prozess: Schachtbetrieb

Das FEP beschreibt die Arbeitsabläufe und Prozesse, die mit der Schachtförderung und daraus resultierenden Lasten zusammenhängen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Gebinde und Behälter sind für den Schachtbetrieb ausgelegt. Beeinträchtigungen der Schutzfunktion sind im bestimmungsgemäßen Betrieb ausgeschlossen.

Beeinträchtigungen der Schutzfunktion setzen ein Versagen der Schachtfördertechnik voraus, siehe Kapitel 4.2 (Schachteinbauten).

4.12.5 Einwirkender Prozess: Rampenbetrieb

Das FEP beschreibt die Arbeitsabläufe und Prozesse, die mit dem Rampentransport und daraus resultierenden Lasten zusammenhängen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Gebinde und Behälter sind für den Rampentransport ausgelegt. Beeinträchtigungen der Schutzfunktion sind im bestimmungsgemäßen Betrieb ausgeschlossen.

Beeinträchtigungen der Schutzfunktion setzen ein Versagen der Rampentransporttechnik voraus, siehe Kapitel 4.3 (Rampeneinbauten).

4.12.6 Einwirkender Prozess: Bewetterung (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Während des Betriebs müssen die Grubenbaue bewettert werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Es besteht ein hoher Temperaturgradient zwischen Endlager- und Transferbehältern mit dem wärmeentwickelnden Inventar und dem Wetterstrom. Dies bewirkt sowohl Verdunstung oder Kondensation von Feuchtigkeit (vgl. u. a. Kapitel 4.12.7) als auch thermomechanische Spannungen der Behälterwandung (vgl. Kapitel 4.12.18). Aufgrund der Auslegung der Behälter ist keine unmittelbare sicherheitstechnische Beeinträchtigung zu erwarten.

4.12.7 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion (Schacht und Rampe)

Das FEP beinhaltet die (elektro-)chemischen Reaktionen von Metallen mit den Stoffen in Grubenbauen bei Gegenwart von wässriger Lösung oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

Die Behälter der Endlagergebinde und die Transferbehälter bestehen aus Metallen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Feuchtigkeit kommt in der Grubenluft vor und wird Behälter korrodieren. Die Behälter sind für die Korrosion während des Transports ausgelegt. Aufgrund der Auslegung der Behälter ist keine unmittelbare sicherheitstechnische Beeinträchtigung zu erwarten.

4.12.8 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen in Grubenbauen durch Kontakt mit wässrigen Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Endlager- und Transferbehälter enthalten keinen Zement.

4.12.9 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (Schacht und Rampe)

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustandes in Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten. Die Einwirkung thermomechanischer Beanspruchungen wird beim Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 4.12.18) behandelt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Außer den thermomechanischen Beanspruchungen wirken auf die Behälter in den Schächten und Rampen betriebliche Lasten (z. B. Transport) und geogene Lasten (Erdbeben). Die Behälter sind gegen betriebliche Lasten, Auslegungsstörfälle und das Bemessungserdbeben ausgelegt.

4.12.10 Einwirkender Prozess: Konvergenz (Schacht und Rampe)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im Gebirge einsetzt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Konvergenz von Grubenbauen wirkt beim Transport nicht auf Endlagergebinde und Transferbehälter ein.

4.12.11 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (Schacht und Rampe)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssige Kohlenwasserstoffen, in die Grubenbereiche.

Durch vorlaufende Erkundung und Abdichtmaßnahmen sind starke Lösungs- und Gaszutritte nicht zu unterstellen. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Fluide können indirekt über die Metallkorrosion auf die Behälter einwirken (vgl. Kapitel 4.12.7). Aufgrund der Auslegung der Behälter ist keine unmittelbare sicherheitstechnische Beeinträchtigung zu erwarten.

4.12.12 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (Schacht und Rampe)

Das FEP betrifft die Degradation organischer Bestandteile von Behältern, Versatz, Verschlüssen (z. B. Asphalt) und Wirtsgestein (z. B. Kohlenwasserstoffe).

Die abgeschirmten Endlagergebinde enthalten das Moderatormaterial Polyethylen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Degradation kann die Eigenschaften der Gebinde verändern, verläuft jedoch sehr langsam. Die Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

4.12.13 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Schacht und Rampe)

Das FEP umfasst die Abläufe beim Stoßen und Verfüllen bzw. Verschließen von Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Es gibt keine Wechselwirkung zwischen diesem Prozess und den Endlagergebinden und Transferbehältern.

4.12.14 Einwirkender Prozess: Einbringen des Schacht- und Rampenverschlusses

Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und Widerlager eines Schacht- oder Rampenverschlusses.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Verschlüsse werden erst kurz vor dem Schließen des Endlagerbergwerkes eingebaut. Zu diesem Zeitpunkt sind alle Endlagergebinde eingelagert.

4.12.15 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (Schacht und Rampe)

Der FEP beschreibt die Übertragung von Wärme zwischen den Komponenten und Grubenbauen.

Für die Endlagergebinde in Schacht und Rampe sind die Wärmeleistung des im Behälter befindlichen Abfallinventars sowie der Wetterstrom die entscheidenden thermischen Randbedingungen. Die Wärmeentwicklung wird bei der Auslegung der Behälter berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Es besteht ein hoher Temperaturgradient zwischen Endlager- und Transferbehältern sowie der Umgebung, bestimmt durch die Wärmeleistung der Behälter und die Wetter. Die Temperaturdifferenzen können Volumen- und Spannungsänderungen bewirken (Kapitel 4.12.15) und Bedingungen chemischer Prozesse beeinflussen (Kapitel 4.12.7). Die Endlagergebinde und Transferbehälter sind gegen die Einwirkungen der hochradioaktiven Abfälle ausgelegt und weisen hohe Sicherheitsfaktoren auf. Wenn die Auslegungstemperatur des Behälters eingehalten wird, haben die thermischen Auswirkungen in Schacht und Rampe keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

4.12.16 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Schacht und Rampe)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet. Im eingespannten Zustand führt es zunächst zur Quelldruckänderung, während im freien Zustand eine Volumenänderung resultiert.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Endlagergebinde und Transferbehälter enthalten keine tonhaltigen Komponenten.

4.12.17 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone

Das FEP umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen in der ALZ durch Wetter und wässrige Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt: Endlagergebinde und Transferbehälter sind kein Bestandteil der ALZ.

4.12.18 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (Schacht und Rampe)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird die Volumenzunahme bzw. Volumenabnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen wird. Die Volumenänderungen werden bei der Auslegung technischer Komponenten berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Thermomechanische Spannungen wirken auf die Behälterwandung. Endlagergebinde und Transferbehälter sind auf die Einwirkungen der hochradioaktiven Abfälle ausgelegt und weisen hohe Sicherheitsfaktoren auf. Wenn die Auslegungstemperatur des Behälters eingehalten wird, haben die thermischen Einwirkungen in Schacht und Rampe keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

4.13 Komponente „Fahrzeuge (Schacht und Rampe)"

Es werden drei Fahrzeugkategorien unterschieden:

- Bergbaumaschinen (Teilschnittmaschine, Bohrmaschine, …)
- Transportfahrzeuge für Endlagergebinde und Transferbehälter
- Einlagerungsmaschinen

Im Schacht sind die Fahrzeuge nur Transportgut. Die Einwirkungen auf die Fahrzeuge in einer Rampe werden durch die Ableitung von EVI bei den Einlagerungsbereichen in Kapitel 6.20 abgedeckt. Zusätzlich sind im Teilsystem „Schächte und Rampen“ bei den Transportsystemen Fehlfunktionen des Portalkrans an den Füllörtern der Rampe zu betrachten.

Die Einwirkungen auf die Fahrzeuge werden umfassend für den Teilbereich „Einlagerungsbereiche“ in Kapitel 6.20 diskutiert.

5 Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche

In diesem Kapitel werden relevante Einwirkungen von Innen (EVI) für das Teilsystem „Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche“ systematisch und detailliert abgeleitet. Das Teilsystem umfasst die Richt- und Wetterstrecken sowie die Auffahrungen für Infrastrukturbereiche – außer Tagesschächte bzw. Rampen. Im Teilsystem „Grubenbaue“ (verkürzte Bezeichnung statt „Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche") werden mehrere Komponenten unterschieden, siehe Tabelle 5.1. Diese werden durch Prozesse und Ereignisse beeinflusst. Durch das Zusammenwirken von Komponenten und Prozessen bzw. Ereignissen werden EVI ausgelöst, die diese Grubenbereiche während der Dauer der Betriebsphase beeinflussen.

Tab. 5.1 Komponenten und Prozesse im Teilsystem „Grubenbaue“

3	FEP: Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche
3.1	Komponenten
3.1.1	Ausbau Richt- und Wetterstrecken
3.1.2	Ausbau Infrastrukturbereiche
3.1.3 *	Technische Einrichtungen
3.1.4	Wirtsgestein (Grubenbau)
3.1.5	Auflockerungszone (Grubenbau)
3.1.6	Lösungen (Grubenbau)
3.1.7	Flüssige Kohlenwasserstoffe (Grubenbau)
3.1.8	Gase (Grubenbau)
3.1.9	Versatz (Grubenbau)
3.1.10	Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Grubenbau)
3.1.11	Streckenverschluss
3.1.12	Verschlüsse im Bereich von Störungszonen
3.1.13	Endlagergebinde und Transferbehälter (Grubenbau)
3.1.14	Fahrzeuge (Grubenbau)
3.2	Prozesse
3.2.1	Auffahrung (Grubenbau)
3.2.2	Ausbau (Grubenbau)
3.2.3	Transportverkehr im Überwachungs- und Kontrollbereich
3.2.4	Bewetterung (Grubenbau)
3.2.5	Metallkorrosion (Grubenbau)
3.2.6	Zementkorrosion (Grubenbau)
3.2.7	Spannungsänderung (Grubenbau)
3.2.8	Konvergenz (Grubenbau)
3.2.9	Fluidzutritt (Grubenbau)

3.2.10	Zersetzung von Organika (Grubenbau)
3.2.11	Entfernen von technischen Einrichtungen
3.2.12	Einbringen von Versatz (Grubenbau)
3.2.13	Erstellen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungs-bohrung (Grubenbau)
3.2.14	Errichten eines Streckenverschlusses
3.2.15	Errichten eines Verschlusses im Bereich einer Störungszone
3.2.16	Wärmestrom (Grubenbau)
3.2.17	Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Grubenbau)
3.2.18	Alteration der Auflockerungszone (Grubenbau)
3.2.19	Thermische Expansion oder Kontraktion (Grubenbau)

* Beobachtungssysteme für die Betriebsüberwachung sind Bestandteil der technischen Einrichtungen, das Monitoring für Langzeitentwicklungen wird nicht berücksichtigt.

** Reparatur und Wartung sind Teil des Betriebs (Auffahrung, Ausbau, usw.).

Für die Komponenten des Teilsystems „Grubenbaue“ werden die einwirkenden Prozesse bzw. Ereignisse beschrieben und Konsequenzen für die Betriebsphase bewertet.

5.1 Komponente „Ausbau Richt- und Wetterstrecken"

Der Ausbau von Richt- und Wetterstrecken erfolgt für die Konturstabilisierung und die Gewährleistung der Stand- und Betriebssicherheit.

Es wird offener Ausbau durch Stahlanker und Stahlnetze oder geschlossener Verbundausbau durch armierten Beton eingebaut. Im Wirtsgestein Salz und im Kristallin kann bei günstigen geologischen Bedingungen auf den Ausbau verzichtet werden. Im Tongestein müssen die Grubenbaue umfassend mit geschlossenem Verbundausbau stabilisiert werden.

Einwirkungen auf nicht ausgebaute Grubenbereiche werden bei den Komponenten „Auflockerungszone“ und „Wirtsgestein“ (Kapitel 5.4 und 5.5) diskutiert.

5.1.1 Einwirkender Prozess: Auffahrung (Grubenbau)

Das FEP umfasst alle Abläufe bei der Auffahrung von Grubenbauen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind zeitlich entkoppelt: Der Streckenausbau erfolgt nach der Auffahrung.

Durch ungünstige Orientierung der Streckenauffahrungen zu den Hauptspannungen im Gebirge können in ausgebauten Strecken durch tangentiale Spannungen intensive Spannungsumlagerungen und Entfestigungen auftreten, siehe Prozess „Spannungsänderung“ (Kapitel 5.1.7).

5.1.2 Einwirkender Prozess: Ausbau (Grubenbau)

Das FEP umfasst alle Abläufe beim Einbringen des Ausbaus in die Grubenbaue.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Arbeitsabläufe und Auslegung bestimmen die Funktionsfähigkeit des Streckenausbaus. Durch unzureichende Stabilisierung des Gebirges um die Strecken können Entfestigungen aufgrund von intensiven Spannungsänderungen auftreten, siehe die Komponente „Auflockerungszone“ (Kapitel 5.5).

Versagen des Streckenausbaus: Menschliche und technische Fehler beim Errichten des Ausbaus können die Stabilisierungsfunktion beeinträchtigen.

Ursachen können Fehler bei der Auslegung des Ausbaus (z. B. Dimensionierungen, Baustoffe), der Interpretation geologischer Daten (z. B. Gesteinseigenschaften, Gebirgsspannungen, Störungszonen), der Spezifikation von Baustoffen (z. B. Fabrikation), oder der technischen Umsetzung sein.

5.1.3 Einwirkender Prozess: Transportverkehr im Überwachungs- und Kontrollbereich

Das FEP beinhaltet den Transport von Endlagergebinden, Transferbehältern, Haufwerk, Material, Personal usw. in den Grubenbauen.

Erschütterungen, Luftfeuchte, Gase usw. während des Betriebs können den Ausbau beeinflussen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Erschütterungen, Lasten etc. durch den Verkehr werden auf den Ausbau übertragen und bewirken Spannungsänderungen (Kapitel 5.1.7). Der Ausbau kann aber auch durch Kollisionen etc. beschädigt werden Der bestimmungsgemäße Betrieb wird bei der Auslegung des Ausbaus berücksichtigt.

Versagen des Streckenausbaus: Technische Defekte und Materialfehler können den Ausbau beschädigen und seine Funktion beeinträchtigen.

5.1.4 Einwirkender Prozess: Bewetterung (Grubenbau)

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch die täglich und jahreszeitlich wechselnden Temperaturen der Wetter werden thermomechanische Spannungen im Ausbau ausgelöst (Kapitel 5.1.17). Die Luftfeuchtigkeit kondensiert am Ausbau und bewirkt Korrosions- (Kapitel 5.1.5 und 5.1.6) und Alterationsprozesse (Kapitel 5.1.18). Die Auswirkungen werden bei der Auslegung berücksichtigt und haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

5.1.5 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion (Grubenbau)

Das FEP beinhaltet die (elektro-)chemischen Reaktionen von Metallen in den Grubenbauen bei Gegenwart von wässrigen Lösungen oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

Es können z. B. die Anker und Stahlnetze des Ausbaus korrodieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Korrosion der Anker und Stahlnetze beschädigt den Ausbau. Die Volumenzunahme dieser Korrosionsprodukte kann die Integrität und Festigkeit von Betonkomponenten beeinträchtigen. Die Einwirkungen werden bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen des Streckenausbaus: Hohe Korrosionsraten der Metalle können den Ausbau beschädigen und seine Stabilisierungsfunktion beeinträchtigen.

5.1.6 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion (Grubenbau)

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen in Grubenbauen durch Kontakt mit wässrigen Lösungen.

Zementbasierte Baustoffe des Ausbaus können der Korrosion unterliegen. Durch die Änderung der Hydrochemie kann die Korrosionsbeständigkeit beeinflusst werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Korrosion von Betonkomponenten kann den Ausbau beschädigen. Die Einwirkungen werden bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen des Streckenausbaus: Hohe Korrosionsraten des Betons können den Ausbau beschädigen und seine Funktion beeinträchtigen.

5.1.7 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (Grubenbau)

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustandes in Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten. Die Einwirkung thermomechanischer Beanspruchungen wird beim Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 5.1.19) behandelt.

Spannungsänderungen in technischen Komponenten können aus betrieblichen Lasten (z. B. Auffahrung), chemischen Prozessen (z. B. Quellen von Baustoffen, Gasbildung) oder der Geosphäre (z. B. litho- bzw. hydrostatischer Druck, Erdbeben) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der Ausbau ist gegen Spannungsänderungen u. a. durch betriebliche Lasten, Hohlraumkonvergenz im bestimmungsgemäßen Betrieb und das Bemessungserdbeben ausgelegt.

Versagen des Streckenausbaus: Fehlerhafte Auslegung und Interpretation der geologischen Bedingungen oder auslegungsüberschreitende Erdbeben bewirken Spannungsumlagerungen, die den Ausbau beschädigen und seine Stabilisierungsfunktion beeinträchtigen können.

5.1.8 Einwirkender Prozess: Konvergenz (Grubenbau)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung über Kriechprozesse im Gebirge einsetzt.

Konvergenz verringert das Hohlraum- und Porenvolumen des geschlossenen Ausbaus, erhöht dessen Einspannung und schließt die ALZ.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Konvergenzentwicklung im bestimmungsgemäßen Betrieb ist eine Grundlage der Auslegungen. Nach dem Auflaufen des Gebirges lastet der Gebirgsdruck auf dem Ausbau; die Konvergenzraten bestimmen die Einspannung des Ausbaus und das Schließen der ALZ, wodurch sich wiederum die Spannungsverhältnisse verändern (Kapitel 5.1.7).

Versagen des Streckenausbaus: Fehlerhafte Auslegungen und Fehlinterpretation der Konvergenzraten können den Ausbau beschädigen und seine Funktion beeinträchtigen.

5.1.9 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (Grubenbau)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffen, aus dem Wirtsgestein.

Durch die vorlaufende Standorterkundung sind starke Lösungs- und Gaszutritte nicht zu erwarten. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 der Komponente zugeordnet, der sie entstammen. In den Grubenbauen sind Fluidzutritte ausschließlich dem Wirtsgestein zuzuordnen (Kapitel 5.4). Die Hydrochemie beeinflusst die Korrosionsraten von Metall und Zement (Kapitel 5.1.5 und 5.1.6). Der Fluiddruck bewirkt hydromechanische Spannungen im Ausbau (Kapitel 5.1.7).

Versagen des Streckenausbaus: Auswaschungen im Beton können die Funktion des Ausbaus beeinträchtigen.

5.1.10 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (Grubenbau)

Das FEP betrifft die Degradation organischer Bestandteile aus Versatz, Verschlüssen und Wirtsgestein.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Der Streckenausbau enthält keine nennenswerten Mengen organischer Bestandteile. Die Einwirkungen haben daher keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

5.1.11 Einwirkender Prozess: Entfernen von technischen Einrichtungen (Grubenbau)

Das FEP umfasst die Abläufe beim Beräumen der Strecken und Infrastrukturbereiche von technischen Einrichtungen (Lutten, Leitungen, Schienen etc.).

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Beim Entfernen von technischen Einrichtungen kann der Ausbau beschädigt werden. Der bestimmungsgemäße Betrieb wird bei der Auslegung des Ausbaus berücksichtigt.

Versagen des Streckenausbaus: Defekte und Beschädigungen durch das Entfernen der technischen Einrichtungen können die Funktion des Streckenausbaus beeinträchtigen.

5.1.12 Einwirkender Prozess: Einbringen von Versatz (Grubenbau)

Das FEP betrifft die Verfüllung von Grubenbauen mit Feststoffen in der Betriebsphase. Das Einbringen von Versatz erfolgt nach dem Einlagerungsbetrieb bzw. während des Verschlusses der Grubenräume im Rückbau.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind zeitlich entkoppelt: Versatz wird eingebaut, wenn die Funktion des Ausbaus nicht mehr erforderlich oder der Ausbau bereits entfernt ist.

5.1.13 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Grubenbau)

Das FEP umfasst die Abläufe beim Stoßen und Verfüllen bzw. Verschließen von Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Nach dem Ausbau dieser Strecken werden nur noch wenige Erkundungsbohrungen gestoßen. Der Aufschlussgrad in der Kontur dieser Strecken ist sehr gering. Diese Einwirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

5.1.14 Einwirkender Prozess: Errichten eines Streckenverschlusses

Das FEP umfasst den Einbau der Dichtelemente und Widerlager von Streckenverschlüssen.

Streckenverschlüsse werden nach dem Abwerfen eines Einlagerungsfeldes eingebaut. Vor dem Errichten der Verschlüsse wird geschlossener Ausbau entfernt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Streckenverschlüsse werden eingebaut, wenn die Funktionen des Ausbaus nicht mehr erforderlich sind oder der Ausbau bereits entfernt ist.

Das Rauben des geschlossenen Ausbaus in Tongesteinen bewirkt Spannungen in dem angrenzenden Gebirge. Auswirkungen sind bei der Komponente „Streckenverschluss“ beschrieben (Kapitel 5.11).

5.1.15 Einwirkender Prozess: Errichten eines Verschlusses im Bereich einer Störungszone

Das FEP umfasst die Abläufe beim Einbau von Dichtelementen und/oder Schotter in Streckenabschnitte mit wasserführender Störungszone.

Richt- und Wetterstrecken in Kristallingesteinen können Störungszonen durchschlagen. Die Verschlüsse werden erst nach dem Abwerfen eines Einlagerungsfeldes eingebaut. Vor dem Errichten der Verschlüsse wird kombinierter Ausbau entfernt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Verschlüsse im Bereich einer Störungszone werden eingebaut, wenn die Funktion des Ausbaus nicht mehr erforderlich oder der Ausbau bereits entfernt ist.

Das Rauben des Ausbaus im Bereich einer Störungszone in Kristallgesteinen bewirkt Spannungen im angrenzenden Gebirge. Die Auswirkungen sind bei der Komponente „Verschlüsse im Bereich von Störungszonen“ beschrieben (Kapitel 5.12).

5.1.16 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (Grubenbau)

Das FEP beschreibt die Übertragung von Wärme zwischen Komponenten und Grubenbauen. Wärme wird aus Einlagerungsbereichen und vom Gebirge abgegeben und in nicht abgeworfenen Grubenbauen über Wetter in die Atmosphäre transportiert. Die Wärmeübertragung wird bei der Auslegung technischer Komponenten berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Übertragung von Wärme aus Einlagerungsbereichen kann Mineralumbildungen und Volumenänderungen von Feststoffen bewirken und somit thermomechanische Spannungen im Ausbau hervorrufen (Kapitel 5.1.19), Bedingungen von chemischen Prozessen, wie Metall- und Zementkorrosion (Kapitel 5.1.5 und 5.1.6) sowie Alteration der Auflockerungszone (Kapitel 5.1.18), verändern und die Konvergenz (Kapitel 5.1.8) über das Verformungsverhalten des Steinsalzes beeinflussen. Die Einwirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

5.1.17 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Grubenbau)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet, woraus Veränderungen des Quelldrucks und des Volumens resultieren.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Für den Ausbau der Richt- und Wetterstrecken werden keine tonhaltigen Baustoffe verwendet.

5.1.18 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (Grubenbau)

Das FEP umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen in der ALZ durch Wetter und wässrige Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Einwirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase. Alterationen in der ALZ können aber die Zusammensetzung und das Volumen von Mineralen bzw. Gesteinen verändern und somit mechanische Spannungen im Ausbau verursachen (Kapitel 5.1.7).

5.1.19 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (Grubenbau)

Das FEP beschreibt die Volumenzunahme bzw. -abnahme von Fluiden und Feststoffen bei Temperaturveränderungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Thermische Volumenveränderungen beeinflussen Porenraum und Mineralgefüge des Ausbaus und bewirken thermomechanische Spannungen. Dadurch können sich mechanische Eigenschaften, wie die Festigkeit, ändern. Diese Einwirkungen werden bei der Auslegung des Ausbaus berücksichtigt.

Versagen des Streckenausbaus: Thermomechanische Spannungen bewirken Rissbildungen, die die Stabilisierungsfunktion des Ausbaus beeinträchtigen können.

5.2 Komponente „Ausbau der Infrastrukturbereiche"

Der Ausbau von Infrastrukturbereichen dient der Stabilisierung der Konturzonen von Infrastrukturbereichen für die Gewährleistung der Stand- und Betriebssicherheit. Der Ausbau wird als offener Ausbau durch Stahlanker und -netze oder als geschlossener Verbundausbau durch armierten Beton eingebaut.

Im Steinsalz werden diese Grubenbereiche nur bei ungünstigen geologischen Bedingungen, z. B. im Anhydrit, mit offenem Ausbau gesichert. Im Kristallingestein kann bei vorteilhaften gebirgsmechanischen Eigenschaften auf den Ausbau verzichtet werden; andernfalls sind die Grubenbereiche mit offenem oder kombiniertem Ausbau zu stabilisieren. Im Tongestein müssen die Grubenbereiche mit geschlossenem Verbundausbau stabilisiert werden.

Nicht ausgebaute Grubenbereiche sind durch fortschreitende Auflockerung der Kontur gekennzeichnet und werden bei den Komponenten „Auflockerungszone“ und „Wirtsgestein“ (Kapitel 5.4 und Kapitel 5.5) diskutiert.

5.2.1 Einwirkender Prozess: Auffahrung (Grubenbau)

Das FEP umfasst alle Abläufe bei der Auffahrung von Grubenbauen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Prozess und Komponente sind zeitlich entkoppelt: Der Ausbau erfolgt erst nach der Auffahrung.

Durch ungünstige Orientierung der Grubenbaue zu den Hauptspannungen im Gebirge können in ausgebauten Grubenbauen durch tangentiale Spannungen intensive Spannungsumlagerungen und Entfestigungen auftreten, siehe Prozess „Spannungsänderung“ (Kapitel 5.2.7).

5.2.2 Einwirkender Prozess: Ausbau (Grubenbau)

Das FEP umfasst alle Abläufe beim Einbringen des Ausbaus in die Grubenbaue.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Arbeitsabläufe und Auslegung bestimmen die Funktionsfähigkeit des Ausbaus in den Infrastrukturbereichen. Durch unzureichende Stabilisierung des Gebirges um diese können Entfestigungen aufgrund von intensiven Spannungsänderungen auftreten, siehe die Komponente „Auflockerungszone“ (Kapitel 5.5).

Versagen des Ausbaus Infrastrukturbereiche: Menschliche und technische Fehler beim Errichten des Ausbaus können die Stabilisierungsfunktion beeinträchtigen.

Ursachen können Fehler bei der Auslegung des Ausbaus (z. B. Dimensionierungen, Baustoffe), bei der Interpretation geologischer Daten (z. B. Gesteinseigenschaften, Gebirgsspannungen, Störungszonen), bei der Spezifikation von Baustoffen (z. B. Fabrikation), oder bei der technischen Umsetzung sein.

5.2.3 Einwirkender Prozess: Transportverkehr im Überwachungs- und Kontrollbereich

Das FEP beinhaltet den Transport von Endlagergebinden, Transferbehältern, Haufwerk, Material, Personal usw. in diesen Grubenbauen.

Erschütterungen, Luftfeuchte, Gase usw. während des Betriebs können den Ausbau beeinflussen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Erschütterungen, Lasten etc. durch den Verkehr werden auf den Ausbau übertragen und bewirken Spannungsänderungen (Kapitel 5.2.7). Der Ausbau kann auch durch Kollisionen etc. beschädigt werden. Der bestimmungsgemäße Betrieb wird bei der Auslegung des Ausbaus berücksichtigt.

Versagen des Ausbaus Infrastrukturbereiche: Technische Defekte und Materialfehler können den Ausbau beschädigen und seine Funktion beeinträchtigen.

5.2.4 Einwirkender Prozess: Bewetterung (Grubenbau)

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Durch die täglich und jahreszeitlich wechselnden Temperaturen der Wetter werden thermomechanische Spannungen im Ausbau ausgelöst (Kapitel 5.2.17). Die Luftfeuchtigkeit kondensiert am Ausbau und bewirkt Korrosion von Metallteilen und Betonkomponenten (Kapitel 5.2.5 und 5.2.6) und Alterationsprozesse (Kapitel 5.2.18). Die Auswirkungen werden bei der Auslegung berücksichtigt und haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

5.2.5 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion (Grubenbau)

Das FEP beinhaltet (elektro-)chemische Reaktionen von Metallen mit den Stoffen in den Grubenbauen in Gegenwart von wässriger Lösung oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

Es können z. B. die Anker und Stahlnetze des Ausbaus korrodieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Korrosion der Anker und Stahlnetze beschädigen den Ausbau. Die Volumenzunahme der Korrosionsprodukte kann die Integrität von Betonkomponenten beeinträchtigen. Die Einwirkungen werden bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen des Ausbaus Infrastrukturbereiche: Hohe Korrosionsraten können den Ausbau beschädigen und seine Stabilisierungsfunktion beeinträchtigen.

5.2.6 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion (Grubenbau)

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit wässrigen Lösungen.

Zementbasierte Baustoffe des Ausbaus können der Korrosion unterliegen. Durch die Änderung der Hydrochemie kann die Korrosionsbeständigkeit beeinflusst werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Korrosion von Betonkomponenten kann den Ausbau beschädigen. Die Einwirkungen werden bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen des Ausbaus Infrastrukturbereiche: Hohe Korrosionsraten des Betons können den Ausbau beschädigen und seine Funktion beeinträchtigen.

5.2.7 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (Grubenbau)

Das FEP beschreibt Änderungen des Gebirgsspannungszustands in Tragelementen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten. Die Einwirkung thermomechanischer Beanspruchungen wird beim Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 5.2.19) behandelt.

Spannungsänderungen in technischen Komponenten können aus betrieblichen Lasten (z. B. Auffahrung), chemischen Prozessen (z. B. Quellen von Baustoffen, Gasbildung) oder der Geosphäre (z. B. litho- bzw. hydrostatischer Druck, Erdbeben) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der Ausbau ist gegen Spannungsänderungen, z. B. durch betriebliche Lasten, Hohlraumkonvergenz im bestimmungsgemäßen Betrieb und das Bemessungserdbeben ausgelegt.

Versagen des Ausbaus Infrastrukturbereiche: Fehlerhafte Auslegung, Fehlinterpretation der geologischen Bedingungen oder auslegungsüberschreitende Erdbeben bewirken Spannungsumlagerungen, die den Ausbau beschädigen und seine Stabilisierungsfunktion beeinträchtigen können.

5.2.8 Einwirkender Prozess: Konvergenz (Grubenbau)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung über Kriechprozesse im Gebirge einsetzt.

Konvergenz verringert das Hohlraum- und Porenvolumen des geschlossenen Ausbaus, erhöht dessen Einspannung und schließt die ALZ.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Konvergenzentwicklung im bestimmungsgemäßen Betrieb ist eine Grundlage der Auslegungen. Nach dem Auflaufen des Gebirges lastet der Gebirgsdruck auf dem Ausbau; die Konvergenzraten bestimmen die Einspannung des Ausbaus und das Schließen der ALZ, wodurch sich wiederum die Spannungsverhältnisse verändern (Kapitel 5.2.4).

Versagen des Ausbaus Infrastrukturbereiche: Fehlerhafte Auslegung und Fehlinterpretation der Konvergenzraten können den Ausbau beschädigen und seine Funktion beeinträchtigen.

5.2.9 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (Grubenbau)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffen, aus dem Wirtsgestein in die Infrastrukturbereiche.

Durch die vorlaufende Standorterkundung und Abdichtmaßnahmen sind starke Lösungs- und Gaszutritte nicht zu erwarten. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Hydrochemie beeinflusst die Korrosion von Metallen und Zement (Kapitel 5.2.5 und 5.2.6) sowie die Alteration in der Auflockerungszone (Kapitel 5.2.17). Der Fluiddruck in der ALZ bewirkt hydromechanische Spannungen im Ausbau (Kapitel 5.2.4).

Versagen des Ausbaus Infrastrukturbereiche: Auswaschungen im Beton können die Funktionalität des Ausbaus beeinträchtigen.

Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 der Komponente zugeordnet, der sie entstammt. Im Infrastrukturbereich sind Fluidzutritte ausschließlich dem Wirtsgestein zuzuordnen (Kapitel 5.4).

5.2.10 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (Grubenbau)

Das FEP betrifft die Degradation organischer Bestandteile aus Versatz, Verschlüssen und Wirtsgestein.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Der Ausbau enthält keine nennenswerten Mengen organischer Bestandteile. Die Einwirkungen haben daher keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

5.2.11 Einwirkender Prozess: Entfernen von technischen Einrichtungen (Grubenbau)

Das FEP umfasst die Abläufe beim Beräumen der Strecken und Infrastrukturbereiche von technischen Einrichtungen (Lutten, Leitungen, Schienen etc.).

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch unsachgemäßes Entfernen von technischen Einrichtungen kann der Ausbau beschädigt werden. Der bestimmungsgemäße Betrieb wird bei der Auslegung des Ausbaus berücksichtigt.

Versagen des Ausbaus Infrastrukturbereiche: Defekte und Beschädigungen können die Funktion des Ausbaus beeinträchtigen.

5.2.12 Einwirkender Prozess: Einbringen von Versatz (Grubenbau)

Das FEP betrifft die Verfüllung von Grubenbauen mit Feststoffen in der Betriebsphase. Das Einbringen von Versatz erfolgt nach dem Einlagerungsbetrieb bzw. während des Verschlusses der Grubenräume im Rückbau.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozesse und Komponente sind zeitlich entkoppelt: Versatz wird eingebaut, wenn die Funktion des Ausbaus nicht mehr erforderlich oder der Ausbau bereits entfernt ist.

5.2.13 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungsbohrung (Grubenbau)

Das FEP umfasst die Abläufe beim Stoßen und Verfüllen bzw. Verschließen von Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Nach dem Ausbau der Infrastrukturbereiche werden nur noch wenige Erkundungsbohrungen gestoßen. Der Aufschlussgrad in der Kontur der Infrastrukturbereiche ist sehr gering. Die Einwirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

5.2.14 Einwirkender Prozess: Errichten eines Streckenverschlusses

Das FEP umfasst die Abläufe beim Einbau von Dichtelementen und Widerlagern von Streckenverschlüssen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Streckenverschlüsse werden den Verbindungsstrecken zugeordnet und sind nicht Teil des Infrastrukturbereichs.

5.2.15 Einwirkender Prozess: Errichten eines Verschlusses im Bereich einer Störungszone

Das FEP umfasst die Abläufe beim Einbau von Dichtelementen und/oder Schotter in Grubenbereiche mit Störungszone.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Diese Verschlüsse werden im Infrastrukturbereich erst eingebaut, wenn der Ausbau nicht mehr erforderlich ist.

5.2.16 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (Grubenbau)

Das FEP beschreibt die Übertragung von Wärme zwischen Komponenten und Grubenbauen. Wärme wird aus Einlagerungsbereichen und vom Gebirge abgegeben und in nicht abgeworfenen Grubenbauen über Wetter in die Atmosphäre transportiert. Die Wärmeübertragung wird bei der Auslegung technischer Komponenten berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Übertragung von Wärme kann Mineralumbildungen und Volumenänderungen von Feststoffen bewirken und thermomechanische Spannungen im Ausbau hervorrufen, siehe Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 5.2.19). Die Einwirkungen auf den Ausbau haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

5.2.17 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Grubenbau)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet, woraus Veränderungen des Quelldrucks und des Volumens resultieren.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Für den Ausbau der Infrastrukturbereiche werden keine tonhaltigen Baustoffe verwendet.

5.2.18 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (Grubenbau)

Das FEP umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen in der ALZ durch Wetter und wässrige Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Alterationen in der ALZ können zu Änderungen der Zusammensetzung und des Volumens von Baustoffen, wie Metalle und Zement (Kapitel 5.2.5 und 5.2.6), führen und dadurch mechanische und hydraulische Eigenschaften verändern. Die Einwirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

5.2.19 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (Grubenbau)

Das FEP beschreibt die Volumenzunahme bzw. -abnahme von Fluiden und Feststoffen bei Temperaturveränderungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Thermische Volumenveränderungen beeinflussen Porenraum und Mineralgefüge des Ausbaus und bewirken thermomechanische Spannungen. Dadurch können sich mechanische Eigenschaften, wie die Festigkeit, ändern. Diese Einwirkungen werden bei der Auslegung des Ausbaus berücksichtigt.

Versagen des Ausbaus Infrastrukturbereiche: Thermomechanische Spannungen bewirken Rissbildungen, die die Stabilisierungsfunktion des Ausbaus beeinträchtigen können.

5.3 Komponente „Technische Einrichtungen (Grubenbau)"

Technische Einrichtungen dienen dem Betrieb des Endlagerbergwerkes und werden zumeist nach der Nutzung entfernt – spätestens beim Abwerfen eines Grubenbaus. Während der Auffahrung, des Betriebes und der Stilllegung der Grubenbaue werden verschiedene technische Einrichtungen für Transport, Energieversorgung, Wetterführung, Kommunikation etc. benötigt, wie z. B. Schienen, Fahrbahnen, Lutten, Leitungen, Kabel.

Einwirkungen von Bohrungen werden in Kapitel 5.10 beschrieben. Einwirkungen von Fahrzeugen werden – umfassend für das gesamte Endlagerbergwerk – bei den Einlagerungsbereichen analysiert (Kapitel 6.20).

5.3.1 Einwirkender Prozess: Auffahrung (Grubenbau)

Das FEP umfasst alle Abläufe bei der Auffahrung der Grubenbaue.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind zeitlich entkoppelt: Die Auffahrung von Grubenbauen erfolgt vor dem Einbau technischer Einrichtungen.

5.3.2 Einwirkender Prozess: Ausbau (Grubenbau)

Das FEP umfasst alle Abläufe beim Einbringen des Ausbaus in die Grubenbaue.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind zeitlich entkoppelt: Der Ausbau von Grubenbauen ist eine Voraussetzung für die Installation von technischen Einrichtungen, um Stand- und Arbeitssicherheit zu gewährleisten, und erfolgt in der Regel vor dem Einbau technischer Einrichtungen. Außerdem werden technische Einrichtungen dem Ausbau angepasst.

5.3.3 Einwirkender Prozess: Transportverkehr im Überwachungs- und Kontrollbereich

Das FEP beinhaltet den Transport von Endlagergebinden, Transferbehältern, Haufwerk, Material, Personal usw. in diesen Grubenbauen.

Erschütterungen, Luftfeuchte, Gase usw. während des Betriebs können technische Einrichtungen beeinflussen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Erschütterungen, Lasten etc. durch den Transportverkehr werden auf technische Einrichtungen übertragen. Diese können auch durch Kollisionen etc. beschädigt werden. Der bestimmungsgemäße Betrieb wird bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen technischer Einrichtungen: Erschütterungen und Defekte können technische Einrichtungen beschädigen bzw. deren Funktionen beeinträchtigen.

Hierzu gehören das Versagen der Stromversorgung, Bewetterung, Kommunikationstechnik etc.

Feuer: Vorhandene Brandlasten können durch Zündfunken bei Defekten Feuer fangen.

Explosion: Vorhandene Brandlasten können durch Zündfunken bei Defekten explodieren.

Freisetzung chemotoxischer Stoffe: Beschädigte Leitungen können chemotoxische Stoffe freisetzen.

5.3.4 Einwirkender Prozess: Bewetterung (Grubenbau)

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Während der Betriebsphase müssen Infrastrukturbereiche und Richtstrecken bewettert werden. Hierzu sind umfangreiche Einbauten und ggf. zusätzliche Grubenbaue erforderlich.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Grubenbaue mit technischen Einrichtungen werden in der Regel während des Betriebs bewettert.

Versagen technischer Einrichtungen: Die Feuchtigkeit der Grubenwetter kann zur Funktionsstörung von elektrischen Anlagen führen.

5.3.5 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion (Grubenbau)

Das FEP beinhaltet die (elektro-)chemischen Reaktionen von Metallen mit den Stoffen in den Grubenbauen in der Gegenwart von wässriger Lösung oder Wasserdampf.

Metallteile von technischen Einrichtungen, wie Traversen, Halterungen, Schienen, Rohre etc. können korrodieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Korrosion von Metallteilen beschädigt technische Einrichtungen und kann Betriebsunterbrechungen verursachen. Die Einwirkungen werden bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen technischer Einrichtungen: Hohe Korrosionsraten von Metallen können die Funktionsfähigkeit technischer Einrichtungen beeinträchtigen.

Hierzu gehören u. a. das Abreißen von Befestigungen und Traversen, das Korrodieren von Schienen, Funktionsstörungen von Pumpen etc.

5.3.6 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion (Grubenbau)

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit wässrigen Lösungen.

Technische Einrichtungen, wie Fundamente, Schutz- und Stützwände, Fahrbahnen etc., enthalten zementbasierte Baustoffe. Durch die Änderung der Hydrochemie kann die Korrosionsbeständigkeit beeinflusst werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Korrosion von Beton kann technische Einrichtungen beschädigen und Betriebsunterbrechungen verursachen. Die Auswirkungen werden bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen technischer Einrichtungen: Hohe Korrosionsraten von Beton können die Funktionsfähigkeit technischer Einrichtungen beeinträchtigen.

Hierzu gehören u. a. das Abreißen von Halterungen, das Aufreißen von Fundamenten und Fahrbahnen etc.

5.3.7 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (Grubenbau)

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustandes in Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten. Die Einwirkung thermomechanischer Beanspruchungen wird beim Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 5.2.19) behandelt.

Spannungsänderungen können aus betrieblichen Lasten (z. B. Auffahrung), chemischen Prozessen (z. B. Quellen von Baustoffen, Gasbildung) oder der Geosphäre (z. B. litho- bzw. hydrostatischer Druck, Erdbeben) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Technische Einrichtungen sind gegen Spannungsänderungen u. a. durch betriebliche Lasten, Hohlraumkonvergenz im bestimmungsgemäßen Betrieb sowie durch das Bemessungserdbeben ausgelegt.

Versagen technischer Einrichtungen: Fehlerhafte Auslegung, Fehlinterpretation der geologischen Bedingungen oder Erdbeben können technische Einrichtungen beschädigen und ihre Funktionsfähigkeit beeinträchtigen.

Hierzu gehören u. a. das Abreißen von Leitungen, das Zerbersten von Rohren, das Verdrücken von Lutten etc.

5.3.8 Einwirkender Prozess: Konvergenz (Grubenbau)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im umgebenden Gebirge einsetzt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Nach dem Auflaufen des Gebirges wirkt die Gebirgsspannung über den Schachtausbau oder direkt auf die technischen Einrichtungen. Die Konvergenzentwicklung wird bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen technischer Einrichtungen: Fehlerhafte Auslegungen und Fehleinschätzungen können zu technischen Defekten führen, Aufhängungen und Befestigungen beschädigen und somit die Funktionsfähigkeit von technischen Einrichtungen beeinträchtigen.

5.3.9 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (Grubenbau)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffen, aus dem Wirtsgestein.

Durch die vorlaufende Erkundung sind starke Lösungs- und Gaszutritte im ELB nicht zu unterstellen. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Lösungen bzw. Wässer können in technische Einrichtungen eindringen.

Versagen technischer Einrichtungen: Fluide können technische Einrichtungen beschädigen und Funktionsstörungen auslösen.

Hierzu gehören das Versagen der Stromversorgung, Bewetterung, Kommunikation etc. Sollten sich Zündfunken bilden, können geringe Gaszutritte signifikante Einwirkungen verursachen (Kombination von EVI).

5.3.10 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (Grubenbau)

Das FEP betrifft die Degradation organischer Bestandteile von technischen Einrichtungen, z. B. Kunststoffe, PVC, Lacke.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Einige Einrichtungen, wie Lutten, Leitungen, Kabelummantelungen etc., bestehen u. a. aus organischen Bestandteilen. Die Degradation verläuft jedoch sehr langsam und hat während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

5.3.11 Einwirkender Prozess: Entfernen von technischen Einrichtungen (Grubenbau)

Das FEP umfasst die Abläufe beim Beräumen der Strecken und Infrastrukturbereiche von technischen Einrichtungen (Lutten, Leitungen, Schienen etc.).

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Zum Zeitpunkt des Entfernens einer technischen Einrichtung wird diese nicht mehr gebraucht. Es können beim Entfernen andere technische Einrichtungen beschädigt werden. Der bestimmungsgemäße Betrieb wird berücksichtigt.

Versagen technischer Einrichtungen: Beim Entfernen einer technischen Einrichtung kann eine andere technische Einrichtung beschädigt werden und die Funktionsfahigkeit beeinträchtigen.

Feuer: Zutretende Gase können durch Zündfunken beim Entfernen von technischen Einrichtungen Feuer fangen.

Explosion: Beim Zutritt von Gasen können sich kritische Gasgemische bilden, die durch Zündfunken beim Entfernen von technischen Einrichtungen explodieren können.

5.3.12 Einwirkender Prozess: Einbringen von Versatz (Grubenbau)

Das FEP betrifft die Verfüllung von Grubenbauen mit Feststoffen in der Betriebsphase. Das Einbringen von Versatz erfolgt nach dem Einlagerungsbetrieb bzw. während des Verschlusses der Grubenräume im Rückbau.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt: vor dem Verfüllen mit Versatz werden die technischen Einrichtungen rückgebaut. Falls sie verbleiben, hat das während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

5.3.13 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungsbohrung (Grubenbau)

Das FEP umfasst die Abläufe beim Stoßen und Verfüllen bzw. Verschließen von Erkundungsbohrungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die verfügbaren Grubenräume für das Stoßen der Bohrungen sind oft begrenzt und die Bohrgeräte sind vergleichsweise groß.

Versagen technischer Einrichtungen: Technische Defekte und unsachgemäße Bohrarbeiten können technische Einrichtungen beschädigen und die Funktionsfähigkeit beeinträchtigen.

Feuer: Zutretende Gase können durch Zündfunken bei technischen Defekten und unsachgemäßen Bohrarbeiten Feuer fangen.

Explosion: Beim Zutritt von Gasen können sich kritische Gasgemische bilden, die durch Zündfunken bei technischen Defekten und unsachgemäßen Bohrarbeiten explodieren können.

5.3.14 Einwirkender Prozess: Errichten eines Streckenverschlusses

Das FEP umfasst die Abläufe beim Einbau von Dichtelementen und Widerlagern von Streckenverschlüssen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt: Die technischen Einrichtungen werden vor dem Errichten von Streckenverschlüssen zurückgebaut.

5.3.15 Einwirkender Prozess: Errichten eines Verschlusses im Bereich einer Störungszone

Das FEP umfasst die Abläufe beim Einbau von Dichtelementen und/oder Schotter in Grubenbereiche mit Störungszone nach dem Berauben.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt: Die technischen Einrichtungen werden vor dem Errichten von Verschlüssen zurückgebaut. Diese Verschlüsse werden errichtet, wenn technische Einrichtungen keine Funktion mehr haben oder bereits entfernt sind.

5.3.16 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (Grubenbau)

Das FEP beschreibt die Übertragung von Wärme zwischen Komponenten und Grubenbauen. Wärme wird vom Gebirge abgegeben und in nicht abgeworfenen Grubenbereichen über die Wetter in die Atmosphäre transportiert. Die Wärmeübertragung wird bei der Auslegung technischer Komponenten berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Übertragung von Wärme führt zu Mineralumwandlungen, Volumenänderungen und thermomechanischen Spannungen in den technischen Einrichtungen, siehe Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 5.3.19). Technische Einrichtungen können auch Wärme produzieren.

Versagen technischer Einrichtungen: Das Überhitzen von technischen Anlagen kann zu Funktionsstörungen führen.

Feuer: Das Überhitzen von technischen Anlagen kann Feuer verursachen.

5.3.17 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Grubenbau)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die technischen Einrichtungen enthalten keine Tonminerale.

5.3.18 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (Grubenbau)

Das FEP umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen in der ALZ durch Wetter und wässrige Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Einwirkungen von Alterationen in der ALZ auf technische Einrichtungen sind auf mechanische Spannungen und lokale Änderungen der hydrochemischen Verhältnisse zurückzuführen, siehe die Prozesse „Spannungsänderung“ (Kapitel 5.3.7) und

„Metallkorrosion“ (Kapitel 5.3.5). Alterationen können lokal mechanische Eigenschaften während der Betriebsphase verändern.

Versagen technischer Einrichtungen: Halterungen/Befestigungen von technischen Einrichtungen in der ALZ können sich lösen und die Funktionsfähigkeit beeinträchtigen.

Dazu gehören z. B. das Abreißen von Leitungen, Kabeln, Rohren etc.

5.3.19 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (Grubenbau)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird die Volumenzunahme bzw. Volumenabnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen wird. Aufgrund der wärmeentwickelnden Abfälle ist der Prozess in den Einlagerungsbereichen von besonderer Bedeutung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Thermische Volumenänderungen beeinflussen den Porenraum und das Gefüge der Baukörper, wie Fundamente, Aufhängungen, Fahrbahnen etc. Dadurch können sich deren mechanische Eigenschaften, wie der Druck und die Festigkeit, verändern. Diese Einwirkungen werden bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen technischer Einrichtungen: Thermomechanische Spannungen können Risse in Baukörpern bilden, die die Funktion technischer Einrichtungen beeinträchtigen.

Dazu gehören z. B. Fahrbahnen, Lüfter, Transformatoren, Kabelschränke etc.

5.4 Komponente „Wirtsgestein (Grubenbaue)"

Die Komponente beschreibt mechanische, hydraulische und chemisch-mineralogische Eigenschaften der Wirtsgesteine Steinsalz, Tongestein oder Kristallingestein im Umfeld von Grubenbauen.

Die Komponente „Wirtsgestein“ umfasst nur die intakte Gesteinsformation; nicht dazu gehören gebirgsmechanisch beanspruchte und plastisch verformte Gesteinsbereiche des Wirtsgesteins in der Kontur der Grubenbaue. Diese gehören zu der Komponente „Auflockerungszone“ im folgenden Kapitel 5.5.

5.4.1 Einwirkender Prozess: Auffahrung (Grubenbau)

Das FEP umfasst alle Abläufe bei der Auffahrung der Grubenbaue.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Auffahrungen beeinflussen die Spannungsverhältnisse im angrenzenden Gebirge (Kapitel 5.4.4). Es bilden sich aufgelockerte Gesteinsbereiche, die zur Komponente „Auflockerungszone“ (Kapitel 5.5) gehören. Außerdem kann es zu der Reaktivierung oder Bildung von Störungen und Klüften kommen, wodurch sich hydraulische Wegsamkeiten im Wirtsgestein öffnen und mit Auffahrungen verbinden können.

Bläser: Beim Anfahren unerkannter Gasreservoire im Wirtsgestein, die unter hohem Druck stehen, können Gase schlagartig austreten.

Flutung der Grubenbaue: Beim Anfahren unerkannter Lösungsreservoire im Wirtsgestein können Lösungen in die Grubenbaue vordringen.

Freisetzung chemotoxischer Stoffe: Beim Anfahren unerkannter Lösungsreservoire im Wirtsgestein können chemotoxische Stoffe in Grubenbaue vordringen.

Freisetzung radioaktiver Stoffe: Beim Anfahren unerkannter Gasreservoire im Wirtsgestein können radioaktive Stoffe – z. B. Radon – in Grubenbaue vordringen.

Feuer: Beim Zutritt brennbarer Gase (CH_4, H_2) aus dem Wirtsgestein können durch Zündfunken beim Auffahren Feuer ausbrechen.

Explosion: Beim Zutritt von Gasen können sich kritische Gasgemische bilden, die durch Zündfunken beim Auffahren explodieren können.

5.4.2 Einwirkender Prozess: Ausbau (Grubenbau)

Das FEP umfasst alle Abläufe beim Ausbau der Grubenbaue, einschließlich des Setzens von Ankern mehrere Meter in das Gestein.

Der Ausbau stabilisiert das Gebirge.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Das Einbringen des Ausbaus bedingt mechanische Beanspruchungen des Gebirges. Es bilden sich aufgelockerte Gesteinsbereiche, die zur Komponente „Auflockerungszone“ (Kapitel 5.5) gehören. Es kann auch zur Reaktivierung oder Neubildung von Stö-

rungen und Klüften führen, wodurch sich hydraulische Wegsamkeiten im Wirtsgestein öffnen und mit Auffahrungen verbinden können.

Bläser: Beim Anbohren unerkannter Gasreservoire im Wirtsgestein, die unter hohem Druck stehen, können Gase schlagartig austreten.

Flutung der Grubenbaue: Beim Anbohren unerkannter Lösungsreservoire im Wirtsgestein können Lösungen in Grubenbaue vordringen.

Freisetzung chemotoxischer Stoffe: Beim Anbohren unerkannter Lösungsreservoire im Wirtsgestein können chemotoxische Stoffe in Grubenbaue vordringen.

Freisetzung radioaktiver Stoffe: Beim Anbohren unerkannter Gasreservoire im Wirtsgestein können radioaktive Stoffe – z. B. Radon – in Grubenbaue vordringen.

Feuer: Beim Zutritt brennbarer Gase (CH_4, H_2) aus dem Wirtsgestein können durch Zündfunken beim Ausbauen Feuer ausbrechen.

Explosion: Beim Zutritt von Gasen können sich kritische Gasgemische bilden, die durch Zündfunken beim Ausbauen explodieren können.

5.4.3 Einwirkender Prozess: Transportverkehr im Überwachungs- und Kontrollbereich

Das FEP beinhaltet den Transport von Endlagergebinden, Transferbehältern, Haufwerk, Material, Personal usw. in den Grubenbauen.

Erschütterungen, Luftfeuchte, Gase usw. während des Betriebs können angrenzende konturnahe Gesteinsbereiche beeinflussen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Einwirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Erschütterungen, Lasten etc. durch den Transportverkehr werden aber auf das Wirtsgestein übertragen und bewirken Spannungsänderungen (Kapitel 5.4.7) und Auflockerungen (Kapitel 5.5). Der bestimmungsgemäße Betrieb wird berücksichtigt.

5.4.4 Einwirkender Prozess: Bewetterung (Grubenbau)

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Während des Betriebs müssen diese Grubenbereiche bewettert werden. Hierzu sind umfangreiche Einbauten und ggf. zusätzliche Grubenbaue erforderlich.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Bewetterung beeinflusst thermische, chemische und hydraulische Eigenschaften im konturnahen Gebirge. In einigen Grubenbereichen kondensiert Luftfeuchtigkeit an der Kontur, in anderen verdunstet diese. Bewetterung kann zur Teilentsättigung im Tongestein und zur Aufnahme von Feuchtigkeit im Steinsalz führen. Die Einwirkungen haben durch den geschlossenen Ausbau im Tongestein während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

5.4.5 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion (Grubenbau)

Das FEP beschreibt die (elektro-)chemischen Reaktionen von Metallen mit den Stoffen in den Grubenbauen in der Gegenwart von wässriger Lösung oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

Im Wirtsgestein liegt kein Metall vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Im Wirtsgestein können sich mit Stahllinern ausgebaute Bohrungen, Stahlanker und Bohrgestänge befinden. Diese Metalle gehören nicht zur Komponente „Wirtsgestein". Sie werden der Komponente „Erkundungs- oder Überwachungsbohrung“ (Kapitel 5.10) zugeordnet.

5.4.6 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion (Grubenbau)

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit wässrigen Lösungen.

Im Wirtsgestein liegt kein Zement vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Im Wirtsgestein können sich mit Zement verfüllte Bohrungen oder injizierte Störungen und Klüfte befinden. Dieser Zement gehört nicht zur Komponente „Wirtsgestein“ und wird der Komponente „Erkundungs- oder Überwachungsbohrung“ (Kapitel 5.10) zugeordnet.

Zement von Injektionen in Störungen und Klüften kann korrodieren und Volumen- und Spannungsänderungen auslösen, (Kapitel 5.4.7). Die Korrosion verläuft sehr langsam. Die Einwirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

5.4.7 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (Grubenbau)

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustandes in Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten. Die Einwirkung thermomechanischer Beanspruchungen wird beim Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 5.4.19) behandelt.

Spannungsänderungen im Wirtsgestein können aus betrieblichen Lasten (z. B. durch Auffahrung) oder aus der Geosphäre (z. B. Erdbeben) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch Spannungsänderungen bilden sich aufgelockerte und entfestigte Gesteinsbereiche. Konsequenzen werden bei der Komponente „Auflockerungszone“ (Kapitel 5.5) beschrieben.

Spannungsumlagerungen durch Auffahrungen können auch zur Reaktivierung oder Bildung von Störungen und Klüften führen, wodurch sich hydraulische Wegsamkeiten im Wirtsgestein öffnen und mit Auffahrungen verbinden können.

Flutung der Grubenbaue: Durch Störungen bzw. Klüfte können unerkannte Lösungsreservoire im Wirtsgestein hydraulisch angeschlossen werden und Lösungen in Grubenbaue vordringen.

Bläser: Durch Störungen bzw. Klüfte können Gase im Wirtsgestein, die unter hohem Druck stehen, schlagartig austreten.

Freisetzung chemotoxischer Stoffe: Durch Störungen bzw. Klüfte können Lösungsreservoire im Wirtsgestein hydraulisch angeschlossen werden und chemotoxische Stoffe (KWS) austreten.

Freisetzung radioaktiver Stoffe: Durch Störungen bzw. Klüfte können radioaktive Gase – z. B. Radon – im Wirtsgestein hydraulisch angeschlossen werden und austreten.

5.4.8 Einwirkender Prozess: Konvergenz (Grubenbau)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im umgebenden Gebirge einsetzt.

Die Konvergenz kann auch Hohlräume (z. B. Störungen und Klüfte) im Wirtsgestein schließen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Konvergenz bewirkt Spannungsänderungen und -umlagerungen im Wirtsgestein, siehe Prozess „Spannungsänderung“ (Kapitel 5.4.7). Aufgrund dessen bilden sich die ALZ im konturnahen Gebirgsbereich, siehe Komponente „Auflockerungszone“ (Kapitel 5.5).

5.4.9 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (Grubenbau)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffen, aus dem Wirtsgestein in Grubenbereiche.

Durch die vorlaufende Erkundung sind starke Lösungs- und Gaszutritte im ELB nicht zu unterstellen. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch einen Fluidzutritt in das Grubengebäude sinkt der Fluiddruck im Wirtsgestein, wodurch die Spannungsverhältnisse beeinflusst werden, siehe Prozess „Spannungsänderung“ (Kapitel 5.4.7).

5.4.10 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (Grubenbau)

Das FEP betrifft die Degradation organischer Bestandteile aus dem Wirtsgestein (z. B. Kohlenwasserstoffe).

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Das Wirtsgestein enthält nur geringe Mengen organischer Bestandteile. Die Zersetzung der Organika im Wirtsgestein führt zur Methanbildung. Dadurch kann der Fluiddruck im Wirtsgestein ansteigen, wodurch die Spannungsverhältnisse beeinflusst

werden (Kapitel 5.4.7). Die Einwirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

5.4.11 Einwirkender Prozess: Entfernen von technischen Einrichtungen (Grubenbau)

Das FEP umfasst die Abläufe beim Beräumen der Strecken und Infrastrukturbereiche von technischen Einrichtungen (Lutten, Leitungen, Schienen etc.).

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch unsachgemäßes Entfernen von Einbauten kann intaktes Wirtsgestein in konturnahen Bereichen entfestigt bzw. aufgelockert werden. Die Einwirkungen werden der Komponente „Auflockerungszone“ (Kapitel 5.5) zugeordnet.

5.4.12 Einwirkender Prozess: Einbringen von Versatz (Grubenbau)

Das FEP betrifft die Verfüllung von Grubenbauen mit Feststoffen in der Betriebsphase. Das Einbringen von Versatz erfolgt nach dem Einlagerungsbetrieb bzw. während des Verschlusses der Grubenbereiche im Rückbau.

Erschütterungen während des Einbringens können das Wirtsgestein beeinflussen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Das Einbringen bedingt mechanische Belastungen des Wirtsgesteins, insbesondere der aufgelockerten Gesteinsbereiche. Konsequenzen werden bei der Komponente „Auflockerungszone“ (Kapitel 5.5) beschrieben.

5.4.13 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungsbohrung (Grubenbau)

Das FEP umfasst die Abläufe beim Stoßen und Verfüllen bzw. Verschließen von Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen.

Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen stellen Wegsamkeiten im Wirtsgestein dar.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Nicht anforderungsgerecht verfüllte Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen sind potenzielle Zutrittspfade für Fluide.

Flutung der Grubenbaue: Beim Anbohren unerkannter Lösungsreservoire im Wirtsgestein können Lösungen in Grubenbaue vordringen.

Bläser: Beim Anbohren unerkannter Gasreservoire im Wirtsgestein, die unter hohem Druck stehen, können Gase schlagartig austreten.

Freisetzung chemotoxischer Stoffe: Beim Anbohren unerkannter Lösungsreservoire im Wirtsgestein können chemotoxische Stoffe in Grubenbaue zutreten.

Freisetzung radioaktiver Stoffe: Beim Anbohren unerkannter Gasreservoire im Wirtsgestein können radioaktive Gase – z. B. Radon – in Grubenbaue zutreten.

Feuer: Beim Erstellen und Verschließen können brennbare Gase in die Bohrung eintreten und durch Zündfunken ein Feuer verursachen.

Explosion: Beim Erstellen und Verschließen können Gase in die Bohrung eintreten, kritische Gasgemische bilden und durch Funken gezündet werden.

Die Verfüllung fördert die Stützwirkung und stabilisiert die Kontur. Eine unzureichende Verfüllung fördert die Ausweitung von ALZ. Die Einwirkungen sind der Komponente „Erkundungs- oder Überwachungsbohrung“ (Kapitel 5.10) zugeordnet.

5.4.14 Einwirkender Prozess: Errichten eines Streckenverschlusses

Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und Widerlager eines Streckenverschlusses.

Erschütterungen während des Einbaus können das Wirtsgestein beeinflussen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Erschütterungen bedingen mechanische Beanspruchung und Auflockerung des Wirtsgesteins. Konsequenzen werden bei der Komponente „Auflockerungszone“ (Kapitel 5.5) beschrieben.

Ausbau – sofern vorhanden – muss entfernt werden, um Verschlüsse anforderungsgerecht einzubauen. Dabei werden Spannungsumlagerungen im umgebenden Gebirge

ausgelöst (Kapitel 5.4.7). Durch Verschlüsse werden Hohlräume geschlossen, Konturen stabilisiert und Fließwege abgedichtet.

5.4.15 Einwirkender Prozess: Errichten eines Verschlusses im Bereich einer Störungszone

Das FEP umfasst die Abläufe beim Einbau von Dichtelementen und/oder Schotter in Grubenbereiche mit wasserführender Störungszone – ausschließlich in Kristallingesteinen.

Erschütterungen während des Einbaus können das Wirtsgestein beeinflussen. Die Verschlüsse stabilisieren die Kontur und verhindern Lösungszuflüsse.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Erschütterungen bedingen mechanische Beanspruchung und Auflockerung des Wirtsgesteins. Konsequenzen werden bei der Komponente „Auflockerungszone“ (Kapitel 5.5) beschrieben.

Wenn der Ausbau – sofern vorhanden – entfernt wird, werden Spannungsumlagerungen im umgebenden Gebirge ausgelöst (Kapitel 5.4.7).

Flutung der Grubenbaue: Durch unzureichenden Verschluss kann Lösung in das Grubengebäude vordringen.

5.4.16 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (Grubenbau)

Wärme wird vom Gebirge und den eingelagerten Abfällen abgegeben und in nicht abgeworfenen Grubenbereichen über die Wetter in die Atmosphäre transportiert. Das FEP beschreibt die Übertragung von Wärme zwischen Komponenten und Grubenbauen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der Wärmestrom kann Mineralumbildungen und Volumenänderungen von Feststoffen bewirken und dadurch thermomechanische Spannungen hervorrufen, siehe Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 5.4.19). Die Einwirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

5.4.17 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Grubenbau)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet. Im eingespannten Zustand führt es zur Quelldruckänderung, während im freien Zustand eine Volumenänderung resultiert.

Tonminerale kommen als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Prozesse können die Spannungsverhältnisse und somit die mechanischen und hydraulischen Verhältnisse im Wirtsgestein bzw. auf Störungen und Klüften beeinflussen (Kapitel 5.4.7). Die Einwirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

5.4.18 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (Grubenbau)

Die Alteration umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen der ALZ durch den Wetterstrom oder zutretende Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Änderungen der Zusammensetzung und des Volumens von Mineralen bzw. Gesteinen führen zu Spannungsänderungen und Gesteinsumwandlungen. Die Konsequenzen werden bei der Komponente „Auflockerungszone“ (Kapitel 5.5) beschrieben.

5.4.19 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (Grubenbau)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird Volumenzunahme bzw. -abnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen wird. Aufgrund der wärmeentwickelnden Abfälle ist der Prozess in der Nähe von Einlagerungsbereichen von besonderer Bedeutung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Thermische Volumenänderungen beeinflussen Porenraum und Gefüge der Gesteine und bewirken thermomechanische Spannungen. Dadurch können sich mechanische

Eigenschaften, wie die Dichte und die Festigkeit, ändern. Die erwarteten Volumenänderungen werden bei der Auslegung der technischen Komponenten berücksichtigt. Durch sehr hohe thermomechanische Spannungen können sich Auflockerungen, Risse und Klüfte bilden, siehe Kapitel 5.4.7. Konsequenzen werden auch bei der Komponente „Auflockerungszone“ (Kapitel 5.5) beschrieben.

Thermomechanisch bedingte Spannungsumlagerungen können zur Reaktivierung oder Bildung von Störungen und Klüften im Wirtsgestein führen, wodurch sich hydraulische Wegsamkeiten im Wirtsgestein öffnen und mit Auffahrungen verbinden können.

Flutung der Grubenbaue: Durch thermomechanische Spannungsänderungen können unerkannte Lösungsreservoire im Wirtsgestein hydraulisch angeschlossen werden und Lösungen in Grubenbaue vordringen.

Bläser: Durch thermomechanische Spannungsänderungen können unerkannte Gasreservoire im Wirtsgestein, die unter hohem Druck stehen, hydraulisch angeschlossen werden und Gase schlagartig austreten.

Freisetzung chemotoxischer Stoffe: Durch thermomechanische Spannungsänderungen können unerkannte Lösungsreservoire im Wirtsgestein hydraulisch angeschlossen werden und chemotoxische Stoffe (KWS) austreten.

Freisetzung radioaktiver Stoffe: Durch thermomechanische Spannungsänderungen können unerkannte Gasreservoire im Wirtsgestein hydraulisch angeschlossen werden und radioaktive Gase – z. B. Radon – austreten.

5.5 Komponente „Auflockerungszone (Grubenbau)"

Spannungsumlagerungen im Gebirge führen nach der Auffahrung von Grubenbauen zur Ausbildung von konturnah begrenzten und geschädigten Gebirgsbereichen, die als Auflockerungszone (ALZ) bezeichnet werden. Die ALZ umfassen gebirgsmechanisch beanspruchte und verformte Bereiche des Wirtsgesteins in der Kontur der Grubenbaue und sind durch verminderte mechanische Festigkeit und erhöhte hydraulische Leitfähigkeit gekennzeichnet. Die Ausdehnung der ALZ beträgt in der Regel mehrere Meter in Steinsalz und Tongestein sowie wenige Dezimeter in Kristallingestein.

Diese Komponente umfasst nicht die intakte Gesteinsformation, siehe Komponente „Wirtsgestein“ (Kapitel 5.4).

5.5.1 Einwirkender Prozess: Auffahrung (Grubenbau)

Das FEP umfasst alle Abläufe bei der Auffahrung der Grubenbaue.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Auffahrungen beeinflussen die Spannungsverhältnisse im Gebirge; es können sich ALZ, Abschalungen und Löser bilden (Kapitel 5.5.7). Die Einwirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. Fluidzutritte werden für Grubenbaue ausschließlich dem Wirtsgestein zugeordnet (Kapitel 5.4).

5.5.2 Einwirkender Prozess: Ausbau (Grubenbau)

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe beim Einbringen des Ausbaus, einschließlich des Setzens von Ankern.

Der Ausbau stabilisiert das Gebirge und die ALZ.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Einwirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase. Das Einbringen des Ausbaus bedingt jedoch mechanische Beanspruchungen der aufgelockerten Gesteinsbereiche (Kapitel 5.5.7). Es kann auch zur Reaktivierung oder zur Neubildung von Störungen und Klüften führen, wodurch sich hydraulische Wegsamkeiten im Wirtsgestein öffnen und mit Auffahrungen verbinden können.

5.5.3 Einwirkender Prozess: Transportverkehr im Überwachungs- und Kontrollbereich

Das FEP beinhaltet den Transport von Endlagergebinden, Transferbehältern, Haufwerk, Material, Personal usw. in den Grubenbauen.

Erschütterungen, Luftfeuchte, Gase usw. während des Betriebs können das aufgelockerte Wirtsgestein beeinflussen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Einwirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase. Der Transportverkehr und seine Einwirkungen bedingen jedoch mechanische Beanspruchungen von entfestigten Gesteinsbereichen resultierend in Spannungsänderungen, fortschreitender Entfestigung und Ausweitung von ALZ, siehe Prozess „Spannungsänderung“ (Kapitel 5.5.7).

5.5.4 Einwirkender Prozess: Bewetterung (Grubenbau)

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Während des Betriebs müssen diese Grubenbereiche bewettert werden. Hierzu sind umfangreiche Einbauten und ggf. zusätzliche Grubenbaue erforderlich.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Bewetterung beeinflusst thermische, chemische und hydraulische Eigenschaften im konturnahen Gebirge. In einigen Grubenbereichen kondensiert Luftfeuchtigkeit an der Kontur, in anderen verdunstet diese. Bewetterung kann zur Teilentsättigung im Tongestein und zur Aufnahme von Feuchtigkeit im Steinsalz führen. Die Einwirkungen haben durch den geschlossenen Ausbau im Tongestein während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

5.5.5 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion (Grubenbau)

Das FEP beinhaltet die (elektro-)chemischen Reaktionen von Metallen mit den Stoffen in den Grubenbauen in der Gegenwart von wässriger Lösung oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

In der ALZ liegt kein Metall vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die ALZ kann bei offenem Ausbau durch Anker und Stahlnetze gesichert sein, siehe die Komponenten „Ausbau Richt- und Wetterstrecken“ und „Ausbau der Infrastrukturbereiche“ (Kapitel 5.1 und 5.2). Diese Metalle gehören nicht zur Komponente „Auflockerungszone“.

5.5.6 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion (Grubenbau)

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit wässrigen Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

In der ALZ können sich mit Zement verfüllte Bohrungen oder injizierte Risse befinden. Der Zement in Bohrungen gehört nicht zur Komponente „Auflockerungszone“ und wird der Komponente „Erkundungs- oder Überwachungsbohrung“ (Kapitel 5.10) zugeordnet. Zement von Injektionen der Risse in ALZ kann korrodieren und Volumen- und Spannungsänderungen auslösen, siehe Prozess „Spannungsänderung“ (Kapitel 5.5.7).

5.5.7 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (Grubenbau)

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustandes in Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten. Die Einwirkung thermomechanischer Beanspruchungen wird beim Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 5.5.19) behandelt.

Spannungsänderungen in der ALZ können aus betrieblichen Lasten (z. B. Auffahrung), chemischen Prozessen (z. B. Quellen von Baustoffen) oder der Geosphäre (z. B. litho- bzw. hydrostatischer Druck, Erdbeben) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch Spannungsänderungen und -umlagerungen erweitern sich aufgelockerte und entfestigte Gesteinsbereiche und sie können zur Bildung von Rissen führen.

Abschalungen und Löser: In der Kontur von nicht ausgebauten Grubenbauen führen fortschreitende Entfestigung und Auflockerung von Gesteinen zu Abschalungen und Lösern.

Fluidzutritte (nach der Bildung von Rissen) werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. In den Infrastrukturbereichen werden die Fluidzutritte ausschließlich dem Wirtsgestein zugeordnet (Kapitel 5.4).

5.5.8 Einwirkender Prozess: Konvergenz (Grubenbau)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse

im umgebenden Gebirge einsetzt. Im Kristallin ist die Konvergenz aufgrund der hohen Gebirgsfestigkeit nur von geringer Bedeutung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Konvergenz verursacht Spannungsänderungen und -umlagerungen in der ALZ, siehe Prozess „Spannungsänderung“ (Kapitel 5.5.7). Sie führt in unverfüllten Grubenräumen zur Verstärkung und Ausweitung der Auflockerungen in den beanspruchten Gebirgsbereichen.

5.5.9 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (Grubenbau)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffen, aus der ALZ in Grubenbaue.

Durch die vorlaufende Erkundung sind starke Lösungs- und Gaszutritte in Grubenbaue nicht zu erwarten. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Einwirkungen geringer Lösungs- und Gaszutritte haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase. Durch Fluidzutritte in die ALZ kann aber der Fluiddruck hinter geschlossenem Ausbau steigen und hydromechanische Spannungen hervorrufen (Kapitel 5.5.7). Fluidzutritte in die ALZ bewirken zudem Alterationsprozesse des Gesteins, siehe die Prozesse „Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen“ und „Alteration der Auflockerungszone“ (Kapitel 5.5.17 und 5.5.18).

Beim Zutritt brennbarer Gase (CH_4, H_2) ist es aufgrund des geringen Porenvolumens der ALZ unwahrscheinlich, dass ausreichend Sauerstoff für zündfähige Gasgemische vorliegt.

5.5.10 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (Grubenbau)

Das FEP betrifft die Degradation organischer Bestandteile aus Versatz, Verschlüssen, ALZ und Wirtsgestein.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die ALZ enthält nur geringe Mengen organischer Bestandteile. Die Zersetzung dieser Organika führt u. a. zur Gasbildung. Die Einwirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

5.5.11 Einwirkender Prozess: Entfernen von technischen Einrichtungen (Grubenbau)

Das FEP umfasst die Abläufe beim Beräumen der Strecken und Infrastrukturbereiche von technischen Einrichtungen (Lutten, Leitungen, Schienen etc.).

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch das Entfernen von Einbauten können Konturen lokal entfestigt und ALZ ausgeweitet werden. Dabei können Lösungsspeicher in der ALZ (hinter geschlossenem Ausbau) geöffnet werden.

Abschalungen und Löser: Unsachgemäßes Einbauen oder Entfernen von Einbauten bewirkt Abschalungen und Ausbrüche in der Kontur von nicht ausgebauten Grubenbauen.

5.5.12 Einwirkender Prozess: Einbringen von Versatz (Grubenbau)

Das FEP betrifft die Verfüllung von Grubenbauen mit Feststoffen in der Betriebsphase. Das Einbringen von Versatz erfolgt nach dem Einlagerungsbetrieb bzw. während des Verschlusses der Grubenräume im Rückbau.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Versatz fördert die Stützwirkung und Stabilisierung der Kontur und ALZ. Der Ausbau wird nicht entfernt. Durch das Einbringen von Versatz entstehen keine sicherheitstechnisch bedeutsamen, mechanischen Belastungen auf die ALZ.

5.5.13 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungsbohrung (Grubenbau)

Das FEP umfasst die Abläufe beim Stoßen und Verfüllen bzw. Verschließen von Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen.

Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen stellen potenzielle Wegsamkeiten in der ALZ dar.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Bei unzureichendem Verschluss sind Einwirkungen auf den Betrieb zu besorgen. Die Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen sind potenzielle Zutrittspfade für Lösungen und Gase. Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. In Strecken und Infrastrukturbereichen werden die Fluidzutritte dem Wirtsgestein zugeordnet (Kapitel 5.4).

Das Errichten bedingt mechanische Belastungen der aufgelockerten Gesteinsbereiche. Nicht anforderungsgerecht verfüllte Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen sind Schwächezonen im Gebirge. Spannungsumlagerungen erweitern diese aufgelockerten und entfestigten Gesteinsbereiche (Kapitel 5.5.7).

5.5.14 Einwirkender Prozess: Errichten eines Streckenverschlusses

Das FEP umfasst die Abläufe beim Einbau von Dichtelementen und Widerlagern in Strecken.

Vor dem Einbau wird die ALZ in der Kontur der Dichtelemente nachgeschnitten. Erschütterungen während des Einbaus können die ALZ beeinflussen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Erschütterungen bedingen gebirgsmechanische Beanspruchung und Auflockerungen, vor allem wenn Ausbau entfernt wird. Das bewirkt Spannungsänderungen und -umlagerungen (Kapitel 5.5.7) und die Ausweitung der ALZ.

Abschalungen und Löser: Fortschreitende Entfestigung und Auflockerung von Gesteinen in der Kontur von nicht ausgebauten Grubenbauen bedingen Abschalungen und Löser.

5.5.15 Einwirkender Prozess: Errichten eines Verschlusses im Bereich einer Störungszone

Das FEP umfasst die Abläufe beim Einbau von Dichtelementen und/oder Schotter in Grubenbereiche mit einer wasserführenden Störungszone.

Vor dem Einbau wird die ALZ in der Kontur der Dichtelemente nachgeschnitten. Erschütterungen während des Einbaus können die ALZ beeinflussen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der Einbau bedingt gebirgsmechanische Beanspruchung aufgelockerter Gesteinsbereiche, vor allem wenn Ausbau entfernt wird (Kapitel 5.5.7). Das bewirkt Spannungsumlagerungen und die Ausweitung der ALZ.

Abschalungen und Löser: Fortschreitende Entfestigung und Auflockerung von Gesteinen in der Kontur von nicht ausgebauten Grubenbauen bedingen Abschalungen und Löser.

5.5.16 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (Grubenbau)

Das FEP beschreibt die Übertragung von Wärme zwischen den Komponenten und Grubenbauen. Wärme wird von den eingelagerten Endlagergebinden und vom Gebirge abgegeben und im Grubengebäude über die Wetter transportiert. Der Wärmestrom wird bei der Auslegung technischer Komponenten berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Einwirkungen des Wärmestroms haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase. Wärmetransfer kann jedoch zu Mineralumbildungen (Kapitel 5.5.18) sowie zu thermischer Expansion und Kontraktion führen (Kapitel 5.5.19).

5.5.17 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Grubenbau)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet. Im eingespannten Zustand führt es zur Quelldruckänderung, während im freien Zustand eine Volumenänderung resultiert.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Prozesse können die mechanischen und hydraulischen Verhältnisse in den ALZ beeinflussen sowie Volumen- und Spannungsänderungen auslösen (Kapitel 5.5.7). Spannungsumlagerungen bewirken eine Ausweitung der ALZ. Da im Tongestein alle Grubenbaue ausgebaut werden, haben die Einwirkungen keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

5.5.18 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (Grubenbau)

Die Alteration umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen der ALZ durch Wetter und wässrige Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Alterationen können die mechanischen und hydraulischen Eigenschaften der ALZ beeinflussen und Änderungen von Zusammensetzungen, Volumen und Gefüge von Mineralen bzw. Gesteinen bewirken. Folge sind Spannungsänderungen (Kapitel 5.5.7), Gesteinsentfestigung und Auflockerung.

Abschalungen und Löser: Fortschreitende Entfestigung und Auflockerung von Gesteinen in der Kontur von nicht ausgebauten Grubenbauen bedingt Abschalungen und Löser.

5.5.19 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (Grubenbau)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird Volumenzunahme bzw. -abnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen wird.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Thermische Volumenveränderung beeinflusst Struktur, Porenraum und Gefüge der ALZ. Es können sich Risse bilden, mechanische und hydraulische Eigenschaften verändern und ALZ ausweiten.

Abschalungen und Löser: Fortschreitende Entfestigung und Auflockerung von Gesteinen in der Kontur von nicht ausgebauten Grubenbauen bedingt Abschalungen und Löser.

Fluidzutritte (nach der Bildung von Rissen) werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. Fluidzutritte werden für Grubenbaue ausschließlich dem Wirtsgestein zugeordnet (Kapitel 5.4).

5.6 Komponente „Lösungen (Grubenbau)"

In den Grubenbereichen des Bergwerks können Lösungen vorkommen, die aus dem Gebirge zutreten, aus dem Wetterstrom abstammen (Kondenswasser) und mit Bau- bzw. Betriebsstoffen eingebracht werden.

Geringe Lösungsmengen werden toleriert, wenn sie den bestimmungsgemäßen Betrieb nicht beeinträchtigen. Es wird unterstellt, dass zutretende Lösung vollumfänglich gefasst und beseitigt wird. Es verbleibt ggf. Lösung in den ALZ) hinter geschlossenem Ausbau.

Lösungen können ein Transportmedium für die Ausbreitung von radioaktiven und chemotoxischen Stoffen sein und beeinflussen Korrosions- und Alterationsprozesse.

5.6.1 Einwirkender Prozess: Auffahrung (Grubenbau)

Das FEP umfasst alle Abläufe bei der Auffahrung der Grubenbaue.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch die Auffahrungen werden die hydraulischen Eigenschaften des Gebirges in der Umgebung verändert und ggf. Wegsamkeiten zwischen Grube und Fluidreservoiren geöffnet. Durch die vorlaufende Erkundung werden keine großen Reservoire angefahren. Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. In den Grubenbauen werden die Fluidzutritte dem Wirtsgestein zugeordnet (Kapitel 5.4).

5.6.2 Einwirkender Prozess: Ausbau (Grubenbau)

Das FEP umfasst alle Abläufe beim Ausbau der Grubenbaue.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Mit den Baustoffen werden nur geringe Mengen Lösung eingebracht. Geschlossener Ausbau behindert den Lösungsabfluss aus der ALZ in die Grubenbaue. Die Einwirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Be-

deutung. Wechselwirkungen zwischen dem Ausbau und Lösungen können jedoch Lösungsmenge und Lösungszusammensetzung verändern, wie z. B. die Prozesse „Metallkorrosion“ (Kapitel 5.6.5) und „Zementkorrosion“ (Kapitel 5.6.6).

5.6.3 Einwirkender Prozess: Transportverkehr im Überwachungs- und Kontrollbereich

Das FEP beinhaltet den Transport von Endlagergebinden, Transferbehältern, Haufwerk, Material, Personal usw. in diesen Grubenbauen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Durch den Betrieb werden nur geringe Mengen Lösungen in Grubenbaue eingebracht. (z. B. Baustoffe, Bewetterung, Anfeuchten der Fahrbahn zur Staubreduzierung). Die Einwirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

5.6.4 Einwirkender Prozess: Bewetterung (Grubenbau)

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Während der Betriebsphase müssen die Grubenbaue bewettert werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Lösungsmenge und -zusammensetzung werden von Verdunstung und Kondensation beeinflusst: Durch die Bewetterung wird Lösung (Luftfeuchte) in die Grubenbereiche eingebracht und ausgetragen. Wetter nehmen sowohl kondensierte Luftfeuchte als auch Gebirgs- oder Baustofffeuchte durch Verdunstung auf. Im Tongestein kann es zum Austrocknen der ALZ kommen. Dies wird durch den Ausbau eingeschränkt und hat während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Eine veränderte Lösungsmenge und -zusammensetzung beeinflusst aber chemische Prozesse, z. B. die Prozesse „Metallkorrosion“ (Kapitel 5.6.5), „Zementkorrosion“ (Kapitel 5.6.6) und „Alteration der Auflockerungszone“ (Kapitel 5.6.18).

5.6.5 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion (Grubenbau)

Das FEP beinhaltet die (elektro-)chemischen Reaktionen von Metallen mit den Stoffen in Grubenbauen bei Gegenwart von wässriger Lösung oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

In den Strecken und Infrastrukturbereichen können Metallkomponenten korrodieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Korrosionsprozesse verändern Lösungszusammensetzung und Lösungsmenge im Grubenbau. Die Einwirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Eine veränderte Lösungsmenge und -zusammensetzung beeinflusst jedoch chemische Prozesse, wie z. B. die Prozesse „Zementkorrosion“ (Kapitel 5.6.6) und „Alteration der Auflockerungszone“ (Kapitel 5.6.18).

5.6.6 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion (Grubenbau)

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit wässrigen Lösungen.

In den Strecken und Infrastrukturbereichen können Betonkomponenten korrodieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Zementkorrosion verändert Lösungszusammensetzung und Lösungsmenge im Grubenbau. Lösungsmenge und -zusammensetzung beeinflussen jedoch chemische Prozesse, z. B. „Metallkorrosion“ (Kapitel 5.6.5), „Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen“ (Kapitel 5.6.17) und „Alteration der Auflockerungszone“ (Kapitel 5.6.18). Die Einwirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

5.6.7 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (Grubenbau)

Das FEP umfasst u. a. Änderungen des Beanspruchungszustandes in den Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch den Fluiddruck.

Fluiddruckänderungen können aus chemischen Prozessen (Gasbildung) oder aus der Geosphäre (z. B. hydrostatischer Druck) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Der anstehende Fluiddruck in den Strecken und Infrastrukturbereichen kann variieren; er wirkt u. a. auf den Ausbau (Kapitel 5.1 und 5.2) und nur unmerklich auf die Lösungsphase in den Grubenbauen. Diese Einwirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Einwirkungen auf Gase werden bei der Komponente „Gase (Grubenbau)“ beschrieben (Kapitel 5.8).

5.6.8 Einwirkender Prozess: Konvergenz (Grubenbau)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im umgebenden Gebirge einsetzt.

Konvergenz führt zur Abnahme des Hohlraum- und Porenvolumens. Dadurch können Lösungen verdrängt werden. Verschlüsse (bzw. Migrationssperren) behindern die Ausbreitung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch Konvergenz können brennbare Lösungen aus Grubenbereichen verdrängt und durch Funken oder Hitze gezündet werden. Diese Auswirkungen sind Kombinationen, siehe die Prozesse „Transportverkehr“ (Kapitel 5.6.3) und „Entfernen technischer Einrichtungen“ (Kapitel 5.6.11). Die Auswirkungen unzureichender Verschlüsse bzw. Migrationssperren werden bei der Komponente „Streckenverschluss“ (Kapitel 5.11) beschrieben.

5.6.9 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (Grubenbau)

Das FEP beschreibt den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gase und flüssige Kohlenwasserstoffe, in das Grubengebäude.

Durch vorlaufende Erkundung sind starke Lösungs- und Gaszutritte in Grubenbaue nicht zu unterstellen. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. In Grubenbauen werden Fluidzutritte dem Wirtsgestein zugeordnet (Kapitel 5.4). Fluidzutritte verändern Lösungszusammensetzung und Lösungsmenge in Gru-

benbauen. Diese Einwirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase. Eine veränderte Lösungsmenge und -zusammensetzung beeinflusst jedoch chemische Prozesse, z. B. die Prozesse „Metallkorrosion“ (Kapitel 5.6.5), „Zementkorrosion“ (Kapitel 5.6.6) und „Alteration der Auflockerungszone“ (Kapitel 5.6.18).

5.6.10 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (Grubenbau)

Das FEP betrifft die Degradation organischer Bestandteile aus Versatz, Verschlüssen und Wirtsgestein.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Degradationsprozesse im Kontakt mit Lösung verändern Lösungszusammensetzung und Lösungsmenge im Grubenbau. Die Prozesse haben in der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Eine veränderte Lösungsmenge und Lösungszusammensetzung beeinflusst jedoch die chemischen Prozesse, wie z. B. die „Metallkorrosion“ (Kapitel 5.6.5), „Zementkorrosion“ (Kapitel 5.6.6) und „Alteration der Auflockerungszone“ (Kapitel 5.6.18).

5.6.11 Einwirkender Prozess: Entfernen von technischen Einrichtungen (Grubenbau)

Das FEP umfasst die Abläufe beim Einbauen und Entfernen von technischen Einrichtungen der Strecken und Infrastrukturbereiche (Lutten, Leitungen, Schienen etc.).

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch diese Arbeiten können Lösungsspeicher im Wirtsgestein oder in der ALZ hinter geschlossenem Ausbau geöffnet werden. Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. In den Grubenbauen werden die Fluidzutritte dem Wirtsgestein zugeordnet (Kapitel 5.4).

5.6.12 Einwirkender Prozess: Einbringen von Versatz (Grubenbau)

Das FEP betrifft die Verfüllung von Grubenbauen mit Feststoffen in der Betriebsphase. Das Einbringen von Versatz erfolgt nach dem Einlagerungsbetrieb bzw. während des Verschlusses der Grubenbaue im Rückbau.

Durch das Verfüllen mit Versatz wird einerseits Lösung in die Grubenbaue eingebracht. Lösungsmengen werden durch die Auslegung begrenzt. Andererseits kann Versatz Lösung aufnehmen, z. B. durch Speichern im Porenraum oder durch Einbau in Mineralstrukturen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch das Einbringen von Versatz können sich Lösungsmenge und Lösungszusammensetzung verändern. Die Einwirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Eine veränderte Lösungsmenge und Lösungszusammensetzung beeinflusst aber chemische Prozesse, z. B. „Metallkorrosion“ (Kapitel 5.6.5) und „Alteration der Auflockerungszone“ (Kapitel 5.6.18).

5.6.13 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungsbohrung (Grubenbau)

Das FEP umfasst die Abläufe beim Stoßen und Verfüllen bzw. Verschließen von Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen.

Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen bilden Wegsamkeiten im Wirtsgestein. Durch das Verfüllen und Verschließen werden diese abgedichtet.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Beim Stoßen und bei einem unzureichenden Verschluss von Bohrungen kann es zu Fluidzutritten kommen. Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. In Grubenbauen werden sie dem Wirtsgestein zugeordnet (Kapitel 5.4). Die Einwirkungen eines unzureichenden Verschlusses werden bei der Komponente „Erkundungs- oder Überwachungsbohrung“ (Kapitel 5.10) diskutiert.

5.6.14 Einwirkender Prozess: Errichten eines Streckenverschlusses

Das FEP umfasst die Abläufe beim Einbau von Dichtelementen und Widerlagern in Strecken etc.

Die Streckenverschlüsse werden erst zum Abschluss des Abwerfens des Grubenbereiches eingebaut und behindern die Ausbreitung von Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Verschlüsse behindern Lösungsbewegungen, z. B. aus abgeworfenen Grubenfeldern. Bei unzureichendem Verschluss können Lösungen den Grubenbauen zufließen. Die Einwirkungen eines unzureichenden Verschlusses werden bei der Komponente „Streckenverschluss“ (Kapitel 5.11) beschrieben.

5.6.15 Einwirkender Prozess: Errichten eines Verschlusses im Bereich einer Störungszone

Das FEP umfasst die Abläufe beim Einbau von Dichtelementen und/oder Schotter in Grubenbereiche mit wasserführenden Störungszonen.

Die Verschlüsse behindern die Ausbreitung von Zutrittswässern und -lösungen. Sie werden während des Erschließens und Betriebs eines Einlagerungsfeldes eingebaut.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Verschlüsse behindern Lösungsbewegungen zwischen den Störungszonen und den Infrastruktur- und Einlagerungsbereichen. Bei einem unzureichenden Verschluss kann Wasser bzw. Lösung in das Grubengebäude zutreten. Die Auswirkungen eines unzureichenden Verschlusses werden bei der Komponente „Verschlüsse im Bereich von Störungszonen“ beschrieben (Kapitel 5.12).

5.6.16 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (Grubenbau)

Wärme wird von den eingelagerten Endlagergebinden und vom Gebirge abgegeben und in nicht abgeworfenen Teilen des Grubengebäudes über die Wetter in die Atmosphäre transportiert. Das FEP beschreibt die Übertragung von Wärme zwischen den Komponenten und Grubenbauen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der Wärmestrom verändert die Temperatur und somit die Bedingungen chemischer und thermomechanischer Prozesse. Es verändern sich u. a. Löslichkeiten, Viskosität und Fluiddruck der Lösung. Die Prozesse haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Sie beeinflussen jedoch chemische Prozesse, wie z. B. „Metallkorrosion“ (Kapitel 5.6.5), „Zementkorrosion“ (Kapitel 5.6.6) und „Quellen oder Schrumpfen von Tonmineralen“ (Kapitel 5.6.17).

5.6.17 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Grubenbau)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet. Im eingespannten Zustand führt es zur Quelldruckänderung, während im freien Zustand eine Volumenänderung resultiert.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Durch die Aufnahme (Quellen) bzw. die Abgabe (Schrumpfen) von Wasser ändern sich die freien Wassermengen und der Fluiddruck. Die Auswirkungen auf die Komponente Lösungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

5.6.18 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (Grubenbau)

Die Alteration umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen in der ALZ durch Wetter oder zutretende Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch Alterationsprozesse können sich die Hydrochemie und bei Volumenänderungen der Fluiddruck ändern. Die Auswirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Veränderungen der Hydrochemie wirken sich jedoch auf chemische Prozesse aus, wie z. B. die Prozesse „Metallkorrosion“ (Kapitel 5.6.5), „Zementkorrosion“ (Kapitel 5.6.6) und „Quellen oder Schrumpfen von Tonmineralen“ (Kapitel 5.6.17).

5.6.19 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (Grubenbau)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird die Volumenzunahme bzw. Volumenabnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen wird.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Thermische Volumenveränderungen können Änderungen des Fluiddrucks bewirken. Auf Grund der geringen Temperaturänderungen sind die Einwirkungen auf Lösungen gering und haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

5.7 Komponente „Flüssige Kohlenwasserstoffe (Grubenbau)"

In den Grubenbauen der Infrastrukturbereiche können flüssige Kohlenwasserstoffe (KWS) vorhanden sein, die aus dem Gebirge zutreten, aus Baustoffen (Bitumen) freigesetzt werden oder Betriebsmittel (Kraft- und Schmierstoffe) darstellen.

KWS aus dem Wirtsgestein entgasen bei Druckentlastung. Der bestimmungsgemäße Betrieb eines Endlagerbergwerkes toleriert geringe Zutrittsraten, die den Betrieb nicht beeinträchtigen. Es wird unterstellt, dass zutretende flüssige KWS vollumfänglich gefasst und beseitigt werden.

Flüssige KWS können ein Transportmedium für die Ausbreitung von radioaktiven und chemotoxischen Stoffen sein.

Flüssige Kohlenwasserstoffe bilden eine Brandlast. Die daraus ggf. resultierenden EVI werden bei der Komponente „Wirtsgestein“ (Kapitel 5.4) abgeleitet.

5.7.1 Einwirkender Prozess: Auffahrung (Grubenbau)

Das FEP umfasst alle Abläufe bei der Auffahrung der Grubenbaue.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch Auffahrungen werden hydraulische Eigenschaften des Gebirges verändert und ggf. Fließwege zwischen der Grube und KWS-Reservoiren geöffnet. Durch die vorlaufende Erkundung werden in den Grubenbauen keine großen KWS-Reservoire angefahren.

Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. In Grubenbauen werden sie dem Wirtsgestein zugeordnet (Kapitel 5.4).

5.7.2 Einwirkender Prozess: Ausbau (Grubenbau)

Das FEP umfasst alle Abläufe beim Einbringen des Ausbaus der Grubenbaue.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Mit den Baustoffen werden nur geringe Mengen KWS eingebracht. Geschlossener Ausbau behindert den Abfluss von KWS aus der ALZ in die Grubenbaue. Diese Auswirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Wechselwirkungen von Baustoffen mit KWS sind für die flüssigen KWS nicht von Bedeutung.

5.7.3 Einwirkender Prozess: Transportverkehr im Überwachungs- und Kontrollbereich

Das FEP beinhaltet den Transport von Endlagergebinden, Transferbehältern, Haufwerk, Material, Personal usw. in diesen Grubenbauen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch den Verkehr gelangen Treib- und Schmierstoffe in die Grubenbaue. Mengen, Zusammensetzung und Aggregatzustand der KWS variieren örtlich und zeitlich. Beim Förderbetrieb und Verkehr können zudem Zündfunken gebildet werden.

Feuer: Brennbare KWS können durch Funken entzündet werden.

Explosion: Flüssige KWS mit hohem Dampfdruck können kritische Gasgemische bilden und durch Funken gezündet werden.

5.7.4 Einwirkender Prozess: Bewetterung (Grubenbau)

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Während der Betriebsphase müssen die Grubenbaue bewettert werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Temperaturunterschiede in den Grubenbauen bewirken das Verdunsten oder Kondensieren leichtflüchtiger KWS. Menge und Zusammensetzung der KWS variieren daher örtlich und zeitlich, werden aber durch die Wetter stark verdünnt. Die Einwirkungen haben deshalb während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

Sollte die Bewetterung eingeschränkt sein oder ausfallen, können sich ggf. kritische Gasgemische bilden und durch Funken oder Hitze gezündet werden. Diese Einwirkungen sind Kombinationen (Kapitel 7).

5.7.5 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion (Grubenbau)

Das FEP beinhaltet die (elektro-)chemischen Reaktionen von Metallen mit den Stoffen in Grubenbauen bei Gegenwart von wässriger Lösung oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Korrosionsprozesse verändern Zusammensetzung und Menge der KWS-Gemische im Grubenbau marginal. Diese KWS-Gemische werden durch Wetter stark verdünnt, vgl. Kapitel 5.7.4. Die Einwirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

5.7.6 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion (Grubenbau)

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit wässrigen Lösungen.

In den Infrastrukturbereichen können Betonkomponenten korrodieren. Durch Änderung der Hydrochemie kann die Korrosionsbeständigkeit beeinflusst werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Korrosionsprozesse verändern die Zusammensetzung und Menge der KWS-Gemische im Grubenbau marginal. Die Einwirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

5.7.7 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (Grubenbau)

Das FEP umfasst u. a. Spannungsumlagerungen durch Änderung des Fluiddrucks in Lösungen und Gasen.

Fluiddruckänderungen können aus chemischen Prozessen (Quellen von Baustoffen, Gasbildung) oder der Geosphäre (litho- bzw. hydrostatischer Druck, Erdbeben) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Spannungsänderungen können den Fluiddruck beeinflussen. Die Einwirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Die Einwirkungen auf Gase werden bei der Komponente „Gase (Grubenbau)“ beschrieben (Kapitel 5.8).

5.7.8 Einwirkender Prozess: Konvergenz (Grubenbau)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im umgebenden Gebirge einsetzt.

Konvergenz führt zur Abnahme des Hohlraum- und Porenvolumens. Dadurch können flüssige KWS verdrängt werden. Verschlüsse (bzw. Migrationssperren) behindern die Ausbreitung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch Konvergenz können KWS aus Grubenbereichen verdrängt werden, kritische Gasgemische bilden und durch Funken oder Hitze gezündet werden. Diese Einwirkungen sind Kombinationen, siehe die Prozesse „Transportverkehr“ (Kapitel 5.7.3) und „Entfernen technischer Einrichtungen“ (Kapitel 5.7.11).

Auswirkungen unzureichender Verschlüsse bzw. Migrationssperren in diesen Grubenbauen werden bei der Komponente „Streckenverschluss“ (Kapitel 5.11) beschrieben.

5.7.9 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (Grubenbau)

Das FEP umfasst den Zutritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffen, in das Grubengebäude.

Durch vorlaufende Erkundung sind starke Lösungs- und Gaszutritte in Grubenbaue nicht zu unterstellen. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Fluidzutritte verändern die Zusammensetzung und Menge der KWS in den Grubenbauen.

Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. In Grubenbauen werden sie dem Wirtsgestein zugeordnet (Kapitel 5.4).

5.7.10 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (Grubenbau)

Das FEP betrifft die Degradation organischer Bestandteile aus Versatz, Verschlüssen und Wirtsgestein.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Degradationsprozesse im Kontakt mit KWS verändern Zusammensetzung und Menge der KWS-Gemische. Durch die mikrobielle Zersetzung langkettiger KWS erhöht sich z. B. langfristig der Anteil kurzkettiger, zumeist gasförmiger KWS. Die Einwirkungen auf flüssige KWS haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Einwirkungen auf Gase werden bei der Komponente „Gase (Grubenbau)“ beschrieben (Kapitel 5.8).

5.7.11 Einwirkender Prozess: Entfernen von technischen Einrichtungen (Grubenbau)

Das FEP umfasst die Abläufe beim Einbauen und Entfernen von technischen Einrichtungen der Strecken und Infrastrukturbereiche (Lutten, Leitungen, Schienen etc.).

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch diese Arbeiten können KWS-Speicher im Wirtsgestein geöffnet werden. Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen (Kapitel 5.4).

Feuer: Brennbare KWS können durch Funken beim unsachgemäßen Entfernen von technischen Einrichtungen entzündet werden.

Explosion: Flüssige KWS mit hohem Dampfdruck können kritische Gasgemische bilden und durch Funken beim unsachgemäßen Entfernen von technischen Einrichtungen gezündet werden.

5.7.12 Einwirkender Prozess: Einbringen von Versatz (Grubenbau)

Das FEP betrifft die Verfüllung von Grubenbauen mit Feststoffen in der Betriebsphase. Das Einbringen von Versatz erfolgt nach dem Einlagerungsbetrieb bzw. während des Verschlusses der Grubenbaue im Rückbau.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Das Einbringen von Versatz beeinflusst das Migrationsverhalten von flüssigen KWS. Die Einwirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

5.7.13 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungsbohrung (Grubenbau)

Das FEP umfasst die Abläufe beim Stoßen und Verfüllen bzw. Verschließen von Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen.

Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen bilden Wegsamkeiten im Wirtsgestein. Durch das Verfüllen und Verschließen werden diese abgedichtet.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Beim Erstellen von Bohrungen kann es zu KWS-Zutritten kommen. Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. In Grubenbauen werden sie dem Wirtsgestein zugeordnet (Kapitel 5.4).

Die Auswirkungen eines unzureichenden Verschlusses werden bei der Komponente „Erkundungsbohrung“ (Kapitel 5.10) diskutiert.

5.7.14 Einwirkender Prozess: Errichten eines Streckenverschlusses

Das FEP umfasst die Abläufe beim Einbau von Dichtelementen und Widerlagern in Strecken etc.

Die Streckenverschlüsse umfassen Migrationssperren, werden erst zum Abschluss des Abwerfens eines Grubenbereiches eingebaut und behindern die Ausbreitung von KWS.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Verschlüsse behindern die Migration von KWS, z. B. aus abgeworfenen Grubenfeldern. Bei unzureichendem Verschluss können KWS in den Grubenbauen migrieren. Die Auswirkungen eines unzureichenden Verschlusses werden bei der Komponente „Streckenverschluss“ (Kapitel 5.11) beschrieben.

5.7.15 Einwirkender Prozess: Errichten eines Verschlusses im Bereich einer Störungszone

Das FEP umfasst die Abläufe beim Einbau von Dichtelementen und/oder Schotter in Grubenbereiche mit Störungszone.

Die Verschlüsse behindern die Ausbreitung von Zutrittswässern und -lösungen. Sie werden während des Erschließens und Betriebs eines Einlagerungsfeldes eingebaut.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Diese Verschlüsse werden nur für Endlager im Kristallingestein benötigt. Im Kristallin sind die Mengen an flüssigen KWS äußerst gering. Die Einwirkungen haben daher keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

5.7.16 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (Grubenbau)

Wärme wird von den eingelagerten Endlagergebinden und vom Gebirge abgegeben und in nicht abgeworfenen Teilen des Grubengebäudes über die Wetter in die Atmosphäre transportiert. Das FEP beschreibt die Übertragung von Wärme zwischen den Komponenten und Grubenbauen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die vom Wärmestrom bestimmte Temperatur beeinflusst die Viskosität langkettiger KWS. Erhöhte Temperaturen fördern das Entgasen kurzkettiger KWS. Diese Auswirkungen auf die Komponente „flüssige KWS“ haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

Auswirkungen auf gasförmige KWS werden bei der Komponente „Gase (Grubenbau)“ beschrieben (Kapitel 5.8).

5.7.17 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Grubenbau)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet. Im eingespannten Zustand führt es zur Quelldruckänderung, während im freien Zustand eine Volumenänderung resultiert.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Der Prozess kann den Fluiddruck der KWS verändern. Diese Einwirkungen auf die Komponente flüssige KWS haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

5.7.18 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (Grubenbau)

Das FEP umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen in der ALZ durch Wetter und wässrige Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Mineralumwandlungen im Kontakt mit KWS verändern die Zusammensetzung der KWS-Gemische im Grubenbau. Diese Auswirkungen auf die Komponente flüssige KWS haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

5.7.19 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (Grubenbau)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird die Volumenzunahme bzw. Volumenabnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen wird.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Thermische Volumenveränderungen können Änderungen des Fluiddrucks bewirken. Auf Grund der geringen Temperaturänderungen sind die Einwirkungen auf flüssige KWS gering und haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

5.8 Komponente „Gase (Grubenbau)"

Gase umfassen insbesondere die Grubenluft, die durch Wetter in das Grubengebäude gelangt. Sie können außerdem aus dem Gebirge zutreten, durch den Transportverkehr eingetragen werden und durch chemische Prozesse gebildet werden.

Gaszutritte von Kohlenwasserstoffen im Wirtsgestein Steinsalz und Tongestein sind im bestimmungsgemäßen Betrieb nicht auszuschließen.

Gase sind ein Transportmedium für die Ausbreitung von radioaktiven und chemotoxischen Stoffen.

Gase können eine Brandlast bilden. Die daraus ggf. resultierenden EVI werden bei der Komponente „Wirtsgestein“ (Kapitel 5.4) abgeleitet.

5.8.1 Einwirkender Prozess: Auffahrung (Grubenbau)

Das FEP umfasst alle Abläufe bei der Auffahrung der Grubenbaue.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch Auffahrungen werden hydraulische Eigenschaften des Gebirges verändert und ggf. Fließwege zwischen der Grube und Gasspeichern geöffnet. Durch die vorlaufende Erkundung werden in den Grubenbauen keine großen Gasspeicher angefahren.

Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. In Grubenbauen werden Fluidzutritte dem Wirtsgestein zugeordnet (Kapitel 5.4).

5.8.2 Einwirkender Prozess: Ausbau (Grubenbau)

Das FEP umfasst alle Abläufe beim Ausbau der Grubenbaue.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der Ausbau führt in der Regel nicht zur Akkumulation von Gasen in der ALZ und zur Erhöhung des Fluiddrucks. Die Einwirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Wechselwirkungen zwischen Ausbau und Gasen können jedoch Menge und Zusammensetzung der Gase verändern, wie z. B. die Prozess-FEP „Metallkorrosion“ (Kapitel 5.8.5) und „Zementkorrosion“ (Kapitel 5.8.6).

5.8.3 Einwirkender Prozess: Transportverkehr im Überwachungs- und Kontrollbereich

Das FEP beinhaltet den Transport von Endlagergebinden, Transferbehältern, Haufwerk, Material, Personal usw. in diesen Grubenbauen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Fahrzeugbetrieb und Bewetterung und tragen (Ab-)Gase in die Grubenbaue ein. Menge und Zusammensetzung der Gasphase variieren örtlich und zeitlich.

Beim Förderbetrieb und Verkehr können zudem Zündfunken gebildet werden.

Feuer: Brennbare Gase können durch Funken entzündet werden.

Explosion: Kritische Gasgemische können durch Funken gezündet werden.

5.8.4 Einwirkender Prozess: Bewetterung (Grubenbau)

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck).

Während der Betriebsphase müssen die Grubenbaue bewettert werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Temperaturunterschiede in den Grubenbauen bewirken Kondensieren oder Verdunsten von Lösung. Die Gasmenge und -zusammensetzung variieren daher örtlich und zeitlich. Mit der Bewetterung wird zwar Luft zugeführt, aber Gase in den Grubenbauen stark verdünnt, so dass zündfähige Gasgemische unwahrscheinlich sind. Diese Einwirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

Volatile Radionuklide werden mit dem Wetterstrom verteilt. Die Verteilung kann bei Freisetzungen von Radionukliden sicherheitstechnisch von Bedeutung sein. Diese Einwirkung ist eine Kombination (Kapitel 7).

Sollte die Bewetterung eingeschränkt sein oder ausfallen, können sich ggf. kritische Gasgemische bilden und durch Funken oder Hitze gezündet werden oder zu Anreicherungen von gasförmigen Radionukliden führen. Diese Einwirkungen sind Kombinationen (Kapitel 7).

5.8.5 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion (Grubenbau)

Das FEP beinhaltet die (elektro-)chemischen Reaktionen von Metallen mit den Stoffen in Grubenbauen bei Gegenwart von wässriger Lösung oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Korrosionsprozesse verändern die Zusammensetzung und Menge der Gasphase im Grubenbau. Diese Gasphase wird durch Wetter stark verdünnt, so dass zündfähige Gasgemische unwahrscheinlich sind, vgl. Kapitel 5.8.4. Diese Auswirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

5.8.6 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion (Grubenbau)

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit wässrigen Lösungen.

In den Grubenbauen können Betonkomponenten korrodieren. Durch Änderung der Hydrochemie kann die Korrosionsbeständigkeit beeinflusst werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Korrosionsprozesse verändern die Zusammensetzung und Menge der Gasphasen im Grubenbau. Die Gase werden durch die Wetter stark verdünnt, so dass zündfähige Gasgemische unwahrscheinlich sind, vgl. Kapitel 5.8.4. Diese Auswirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

5.8.7 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (Grubenbau)

Das FEP umfasst u. a. Spannungsumlagerungen durch Änderung des Fluiddrucks in Lösungen und Gasen.

Fluiddruckänderungen können aus chemischen Prozessen (Quellen von Baustoffen, Gasbildung), der Bewetterung oder aus Einwirkungen aus der Geosphäre (litho- bzw. hydrostatischer Druck, Fluidzutritt) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Spannungsänderungen können den Fluiddruck beeinflussen. Die Auswirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung auf die Komponente Gase.

5.8.8 Einwirkender Prozess: Konvergenz (Grubenbau)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im umgebenden Gebirge einsetzt.

Konvergenz führt zur Abnahme des Hohlraum- und Porenvolumens. Dadurch können Gase verdrängt werden. Verschlüsse (bzw. Migrationssperren) behindern die Ausbreitung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch Konvergenz können Gase aus Grubenbereichen verdrängt werden, kritische Gasgemische bilden und durch Funken oder Hitze gezündet werden. Diese Einwirkungen sind Kombinationen, siehe die Prozesse „Transportverkehr“ (Kapitel 5.8.3) und „Entfernen technischer Einrichtungen“ (Kapitel 5.8.11).

Auswirkungen unzureichender Verschlüsse bzw. Migrationssperren in diesen Grubenbauen werden bei der Komponente „Streckenverschluss“ (Kapitel 5.11) beschrieben.

5.8.9 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (Grubenbau)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffen, in das Grubengebäude.

Durch vorlaufende Erkundung sind starke Lösungs- und Gaszutritte in Grubenbauen nicht zu unterstellen. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Fluidzutritte verändern die Zusammensetzung- und Menge der Gasphase in Grubenbauen.

Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. In Grubenbauen werden Fluidzutritte dem Wirtsgestein zugeordnet (Kapitel 5.4).

5.8.10 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (Grubenbau)

Das FEP beschreibt die mikrobielle Degradation organischer Bestandteile aus Versatz, Verschlüssen und Wirtsgestein.

Die Zersetzung der Organika führt zur Gasbildung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Degradationsprozesse verändern die Zusammensetzung und Mengen der Gasphase. Durch mikrobielle Zersetzung werden Gase, z. B. Methan und CO_2 gebildet. Zudem werden langkettige KWS zu kurzkettigen, zumeist gasförmigen KWS umgesetzt. Es könnten brennbare und zündfähige Gasgemische entstehen. Aufgrund geringer Mengen an Organika, sehr langsamer Zersetzung vieler Organika (Asphalt, Kunststoff u. a.) und Bewetterung haben diese Auswirkungen auf Gase während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

In abgeworfenen Grubenbereichen können sich ggf. kritische Gasgemische bilden, die in Strecken und Infrastrukturbereiche migrieren und sich durch Funken oder Hitze entzünden, siehe die Prozesse „Transportverkehr“ (Kapitel 5.8.3) und „Entfernen technischer Einrichtungen“ (Kapitel 5.8.11). Die Bewetterung wirkt dem entgegen.

5.8.11 Einwirkender Prozess: Entfernen von technischen Einrichtungen (Grubenbau)

Das FEP umfasst die Abläufe bei Demontage der Strecken und Infrastrukturbereiche von Einbauten (Lutten, Leitungen, Schienen etc.).

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch die Arbeiten können Gasspeicher im Wirtsgestein geöffnet werden. Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. In den Grubenbauen werden Fluidzutritte dem Wirtsgestein zugeordnet (Kapitel 5.4).

Feuer: Brennbare Gase können durch Zündfunken beim unsachgemäßen Entfernen oder Einbauen entzündet werden.

Explosion: Kritische Gasgemische können durch Funken gezündet werden.

5.8.12 Einwirkender Prozess: Einbringen von Versatz (Grubenbau)

Das FEP betrifft die Verfüllung von Grubenbauen mit Feststoffen in der Betriebsphase. Das Einbringen von Versatz erfolgt nach dem Einlagerungsbetrieb bzw. während des Verschlusses der Grubenbaue im Rückbau.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Das Einbringen von Versatz beeinflusst das Migrationsverhalten der Gase. Versatz kann u. a. Gase aufnehmen durch Speichern im Porenraum. Dadurch kann eine Zündung von Gasen verhindert werden. Der eingebaute Versatz verhindert die Ausbreitung von Flammen.

5.8.13 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungsbohrung (Grubenbau)

Das FEP umfasst die Abläufe beim Stoßen und Verfüllen bzw. Verschließen von Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen.

Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen bilden beim Erstellen Wegsamkeiten zu Grubenbauen. Durch Verfüllen und Verschließen werden diese abgedichtet.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Beim Erstellen von Bohrungen kann es zu Gaszutritten kommen. Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. In Grubenbauen werden Fluidzutritte dem Wirtsgestein zugeordnet (Kapitel 5.4). Die Auswirkungen eines unzureichenden Verschlusses werden bei der Komponente „Erkundungs- oder Überwachungsbohrung“ (Kapitel 5.10) diskutiert.

5.8.14 Einwirkender Prozess: Errichten eines Streckenverschlusses

Das FEP umfasst die Abläufe beim Einbau von Dichtelementen und Widerlagern in Strecken etc.

Streckenverschlüsse umfassen Migrationssperren, werden erst zum Abschluss des Abwerfens eines Grubenbereiches eingebaut und behindern die Ausbreitung von Gasen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Verschlüsse behindern die Migration von Gasen, z. B. aus abgeworfenen Grubenfeldern. Bei unzureichendem Verschluss können Gase in das Grubengebäude abfließen. Die Auswirkungen eines unzureichenden Verschlusses werden bei der Komponente „Streckenverschluss“ (Kapitel 5.11) beschrieben. Einwirkungen aus dem Betrieb von

Maschinen sind im Prozess-FEP „Transportverkehr im Überwachungs- und Kontrollbereich“ (Kapitel 5.8.3) beschrieben.

5.8.15 Einwirkender Prozess: Errichten eines Verschlusses im Bereich einer Störungszone

Das FEP umfasst die Abläufe beim Einbau von Dichtelementen und/oder Schotter in Grubenbereiche mit Störungszone.

Die Verschlüsse behindern die Ausbreitung von Zutrittswässern und -lösungen. Sie werden während des Erschließens und Betriebs eines Einlagerungsfeldes eingebaut.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Diese Verschlüsse werden nur für Endlager im Kristallingestein benötigt. Im Kristallin sind die Gasmengen sehr gering. Die Auswirkungen haben keine sicherheitstechnische Bedeutung.

5.8.16 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (Grubenbau)

Wärme wird von den eingelagerten Endlagergebinden und vom Gebirge abgegeben und in nicht abgeworfenen Teilen des Grubengebäudes über die Wetter in die Atmosphäre transportiert. Das FEP beschreibt die Übertragung von Wärme zwischen den Komponenten und Grubenbauen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die vom Wärmestrom bestimmte Temperatur beeinflusst die Viskosität einiger Gasphasen. Erhöhte Temperaturen fördern das Entgasen. Diese Auswirkungen auf die Komponente Gase haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

5.8.17 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Grubenbau)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet. Im eingespannten Zustand führt es zur Quelldruckänderung, während im freien Zustand eine Volumenänderung resultiert.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Der Prozess kann den Fluiddruck der Gasphase verändern. Diese Auswirkungen auf die Komponente Gase haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

5.8.18 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (Grubenbau)

Das FEP umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen in der ALZ durch Wetter und wässrige Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Mineralumwandlungen im Kontakt mit Gasen verändern die Zusammensetzung der Gasphase im Grubenbau. Diese Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

5.8.19 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (Grubenbau)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird die Volumenzunahme bzw. Volumenabnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen wird.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Thermische Volumenveränderungen können Änderungen des Fluiddrucks bewirken. Auf Grund der geringen Temperaturänderungen sind die Einwirkungen auf Gase gering und haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

5.9 Komponente „Versatz (Grubenbau)"

Der Versatz umfasst Materialien, die zum Verfüllen von Strecken eingesetzt werden, sowie deren chemische, hydraulische und mechanische Eigenschaften, einschließlich der Firstspalten. Es werden folgende Versatzstoffe angenommen: Schotter, Salzgrus im Steinsalz, Bentonit und/oder arteigenes Material im Kristallin- und Tongestein.

Durch Setzung kann ein Firstspalt entstehen. Versatz wird in der Regel nach dem Verschluss eines Einlagerungsbereiches und zum Abschluss des Abwerfens von Grubenbauen eingebaut. Versatz kann durch Speicherung im Porenraum u. a. Gase aufnehmen. Dadurch kann eine Zündung von Gasen verhindert werden. Der eingebaute Versatz verhindert die Ausbreitung von Flammen.

5.9.1 Einwirkender Prozess: Auffahrung (Grubenbau)

Das FEP umfasst alle Abläufe bei der Auffahrung der Grubenbaue.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente Versatz sind zeitlich entkoppelt. Auffahrungen erfolgen zu Beginn der Betriebsphase, lange Zeit vor dem Einbringen von Versatz.

5.9.2 Einwirkender Prozess: Ausbau (Grubenbau)

Das FEP umfasst alle Abläufe beim Einbringen des Ausbaus der Grubenbaue.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente „Versatz“ sind zeitlich getrennt.

5.9.3 Einwirkender Prozess: Transportverkehr im Überwachungs- und Kontrollbereich

Das FEP beinhaltet den Transport von Endlagergebinden, Transferbehältern, Haufwerk, Material, Personal usw. in diesen Grubenbauen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Der Prozess ist von der Komponente „Versatz“ räumlich und zeitlich getrennt: Das Einbringen des Versatzes erfolgt nach Beendigung des Transports und des Einlagerungsbetriebes.

5.9.4 Einwirkender Prozess: Bewetterung (Grubenbau)

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Während der Betriebsphase müssen Einlagerungsstrecken bewettert werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente „Versatz“ sind entkoppelt: Sobald Grubenbereiche versetzt sind, findet dort keine Bewetterung mehr statt.

5.9.5 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion (Grubenbau)

Das FEP beinhaltet die (elektro-)chemische Reaktion von Metallen mit den Stoffen in den Grubenbauen bei Gegenwart von wässriger Lösung oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Der Versatz enthält keine Metalle.

5.9.6 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion (Grubenbau)

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit wässrigen Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Der Versatz enthält keine Materialien mit Zementphasen.

5.9.7 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (Grubenbau)

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustands in den Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten. Die Einwirkung thermomechanischer Beanspruchungen wird beim Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 5.9.19) behandelt.

Spannungsänderungen in technischen Komponenten können aus betrieblichen Lasten (z. B. Auffahrung), chemischen Prozessen (z. B. Quellen von Baustoffen, Gasbildung) oder der Geosphäre (z. B. litho- bzw. hydrostatischer Druck) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Spannungsänderungen beeinflussen mechanische und hydraulische Eigenschaften des Versatzes. Außerdem wird die Stützwirkung des Versatzes beeinflusst.

Versagen des Versatzes: Bei Fehleinschätzungen der Spannungsverhältnisse im Versatz kann dieser seine stabilisierende Wirkung nicht erfüllen.

Weitere Einwirkungen, wie Entfestigungen und Auflockerungen des Gesteins, werden bei der Komponente „Auflockerungszone“ (Kapitel 5.5) beschrieben.

5.9.8 Einwirkender Prozess: Konvergenz (Grubenbau)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im Gebirge einsetzt.

Konvergenz verringert das Hohlraum- und Porenvolumen des Versatzes, erhöht dessen Einspannung und schließt bei einem entsprechenden Stützdruck des Versatzes die ALZ.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

In kompaktierbarem Versatz, wie Salzgrus und Bentonit, verringern sich Porosität und Permeabilität und erhöhen sich Versatzdruck bzw. Einspannung (Kapitel 5.9.7). Daraus resultieren Änderungen der mechanischen und hydraulischen Eigenschaften und die Konturstabilisierung dieser Grubenbaue.

Versagen des Versatzes: Bei Fehleinschätzungen der Konvergenz kann sich der Firstspalt nicht schließen und der Versatz erfüllt nicht seine konturstabilisierende Anforderung.

5.9.9 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (Grubenbau)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssige Kohlenwasserstoffe, in die Grubenbereiche.

Durch die vorlaufende Erkundung sind starke Lösungs- und Gaszutritte nicht zu unterstellen. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Fluidzutritte bewirken das Eindringen von Fluiden in den Porenraum des Versatzes. Daraus resultieren Änderungen der mechanischen und hydraulischen Eigenschaften und die Konturstabilisierung dieser Grubenbaue. Aus der Durchfeuchtung oder Durchströmung resultieren ggf. Erosion, Sackung und Firstspalte – und in der Folge Span-

nungsänderungen (Kapitel 5.9.7). Bentonite und Tone werden ggf. beeinflusst, u. a. durch Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Kapitel 5.9.17).

5.9.10 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (Grubenbau)

Das FEP betrifft die Degradation organischer Bestandteile aus Versatz, Verschlüssen und Wirtsgestein.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Tonhaltige Versatzkörper können geringe Mengen an organischen Bestandteilen aufweisen. Die Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

Die Gasbildung durch mikrobielle Degradation muss aber berücksichtigt werden, siehe Komponente „Gase“ (Kapitel 5.8).

5.9.11 Einwirkender Prozess: Entfernen von technischen Einrichtungen (Grubenbau)

Das FEP umfasst die Abläufe beim Beräumen der Strecken und Infrastrukturbereiche von Einbauten (Lutten, Leitungen, Schienen etc.).

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente Versatz sind zeitlich getrennt. Der überwiegende Teil der Einbauten wird vor dem Einbringen von Versatz entfernt, der andere Teil hat keine sicherheitstechnische Bedeutung mehr.

5.9.12 Einwirkender Prozess: Einbringen von Versatz (Grubenbau)

Das FEP betrifft die Verfüllung von Grubenbauen mit Feststoffen in der Betriebsphase. Das Einbringen von Versatz erfolgt nach dem Einlagerungsbetrieb, bzw. während des Verschließens der Grubenräume im Rückbau.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Das Einbringen von Versatz verfüllt Hohlräume und bewirkt eine Stabilisierung der Kontur von Grubenbauen.

Versagen des Versatzes: Falls Versatz nicht anforderungsgerecht eingebaut wird, können die Funktionen beeinträchtigt sein.

5.9.13 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungsbohrung (Grubenbau)

Das FEP umfasst die Abläufe beim Stoßen und Verfüllen bzw. Verschließen von Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen.

Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen bilden beim Erstellen Wegsamkeiten. Durch das Verfüllen und Verschließen werden diese abgedichtet.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente Versatz sind zeitlich getrennt: die Erkundungsbohrungen werden überfahren, so dass sie beim Einbringen von Versatz nicht mehr existieren, oder sie werden vor dem Einbringen von Versatz verschlossen. Diese Auswirkungen sind während der Betriebsphase ohne sicherheitstechnische Bedeutung.

5.9.14 Einwirkender Prozess: Errichten eines Streckenverschlusses

Das FEP umfasst die Abläufe beim Einbau von Dichtelementen und Widerlagern in Strecken etc.

Streckenverschlüsse werden erst zum Abschluss des Abwerfens eines Grubenbereiches eingebaut und behindern Fluidbewegungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Errichtung von Streckenverschlüssen erfolgt zu unterschiedlichen Zeiten während der Betriebsphase. Die Einwirkungen auf den Versatz sind in der Betriebsphase ohne sicherheitstechnische Bedeutung.

5.9.15 Einwirkender Prozess: Errichten eines Verschlusses im Bereich einer Störungszone

Das FEP umfasst die Abläufe beim Einbau von Dichtelementen und/oder Schotter in Grubenbereiche mit Störungszone.

Die Verschlüsse behindern die Ausbreitung von Zutrittswässern und -lösungen. Sie werden als abschließende Maßnahme beim Abwerfen eines Einlagerungsfeldes eingebaut.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Verschlüsse verhindern eine Erosion des Versatzes. Erst ein Versagen des Verschlusses kann eine sicherheitstechnische Bedeutung haben (Kapitel 7).

5.9.16 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (Grubenbau)

Das FEP beschreibt die Übertragung von Wärme zwischen den Komponenten und Grubenbauen. Wärme wird von den eingelagerten Endlagergebinden und vom Gebirge abgegeben und in nicht abgeworfenen Teilen des Grubengebäudes über Wetter in die Atmosphäre transportiert.

Die Wärmeentwicklung wird bei der Auslegung technischer Komponenten berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Der Wärmestrom verändert die Temperatur und chemische Prozesse. Daraus können Mineralumbildungen und Volumenänderungen von Feststoffen resultieren, siehe Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 5.9.17). Eine geeignet gewählte Grenztemperatur garantiert, dass diese Auswirkungen während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung haben.

5.9.17 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Grubenbau)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet. Im eingespannten Zustand führt es zur Quelldruckänderung, während im freien Zustand eine Volumenänderung resultiert.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Beim Quellen erhöht sich das Volumen des Festkörpers oder es wird ein Quelldruck auf die Umgebung ausgeübt. Beim Schrumpfen verringert sich das Volumen. Das Schrumpfen und Quellen verändert hydraulische und mechanische Eigenschaften der Versatzkörper aus Bentonit und Ton. Daraus resultieren Spannungsänderungen (Kapitel 5.9.7).

Quellen und Schrumpfen des Versatzes haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

5.9.18 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (Grubenbau)

Das FEP umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen in der ALZ durch Wetter und wässrige Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Änderungen in der ALZ haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung für den Versatz.

5.9.19 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (Grubenbau)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird die Volumenzunahme bzw. Volumenabnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen wird.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Thermische Volumenveränderungen beeinflussen Porenraum und Mineralstruktur des Versatzes. Dadurch können sich die hydraulischen und mechanischen Eigenschaften verändern. Diese Auswirkungen haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

5.10 Komponente „Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Grubenbau)"

Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen beschreiben offene und verschlossene Bohrungen im Wirtsgestein sowie die chemischen, hydraulischen und mechanischen Eigenschaften.

Erkundungsbohrungen werden nach der Erkundung zumeist überfahren. Wenn das nicht der Fall sein sollte, werden sie hochwertig verfüllt und verschlossen. Es werden folgende Verfüllstoffe unterstellt: Sorelbeton im Wirtsgestein Steinsalz, zement- oder tonhaltige Baustoffe in den Wirtsgesteinen Kristallin und Ton.

In offenen Überwachungsbohrungen können Beeinträchtigungen der Messinstrumente auftreten. Daraus können sich Fehlinterpretation für die Betriebssicherheit ergeben, z. B. Unterdimensionierung des Ausbaus.

Bohrungen für die betriebliche Überwachung werden instrumentiert und bleiben während der Betriebsphase offen. Die Instrumentierung ist Teil der Komponente „Technische Einrichtungen“ (Kapitel 5.3).

5.10.1 Einwirkender Prozess: Auffahrung (Grubenbau)

Das FEP umfasst alle Abläufe bei der Auffahrung der Grubenbaue.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt. Vorlaufende Erkundungsbohrungen werden durch Auffahrungen überfahren oder verfüllt und verschlossen. Die Auswirkungen haben keine sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

5.10.2 Einwirkender Prozess: Ausbau (Grubenbau)

Das FEP umfasst alle Abläufe beim Ausbau der Grubenbaue.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt: Vorlaufende Erkundungsbohrungen werden durch Auffahrungen überfahren oder verfüllt und verschlossen. Die Auswirkungen haben keine sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

5.10.3 Einwirkender Prozess: Transportverkehr im Überwachungs- und Kontrollbereich

Das FEP beinhaltet den Transport von Endlagergebinden, Transferbehältern, Haufwerk, Material, Personal usw. in diesen Grubenbauen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt. Die Bohrungen werden durch Auffahrungen überfahren oder verfüllt und verschlossen. Die Auswirkungen haben keine sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

5.10.4 Einwirkender Prozess: Bewetterung (Grubenbau)

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Bohrungen werden nicht bewettert.

5.10.5 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion (Grubenbau)

Das FEP beinhaltet die (elektro-)chemischen Reaktionen von Metallen mit den Stoffen der Umgebung bei Gegenwart von wässriger Lösung oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Beim Erstellen und Betrieb von Erkundungs- und Überwachungsbohrungen werden Metallteile, wie Verrohrungen, Bohrgestänge, Packer etc., verwendet.

Versagen des Verschlusses einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung: Die Metallteile, die in der Bohrung verbleiben, können korrodieren, Spannungsrisse in der Verfüllung bilden und die Durchlässigkeit des Verschlusses erhöhen.

5.10.6 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion (Grubenbau)

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit wässrigen Lösungen.

Bei der Verfüllung von Erkundungsbohrungen werden u. a. zementbasierte Baustoffe verwendet. Die Änderung der Hydrochemie kann die Korrosionsbeständigkeit beeinflussen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Korrosion kann die Verfüllung beschädigen. Dies wird bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen des Verschlusses einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung: Hohe Korrosionsraten können die Durchlässigkeit des Verschlusses erhöhen.

5.10.7 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (Grubenbau)

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustands in den Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten. Die Einwirkung thermomechanischer Beanspruchungen wird beim Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 5.10.19) behandelt.

Spannungsänderungen in technischen Komponenten können aus betrieblichen Lasten (z. B. Auffahrung), chemischen Prozessen (z. B. Quellen von Baustoffen, Gasbildung) oder der Geosphäre (z. B. litho- bzw. hydrostatischer Druck) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Spannungsumlagerungen bewirken Änderungen mechanischer und hydraulischer Eigenschaften von verfüllten Bohrungen.

Versagen des Verschlusses einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung: Spannungen können Risse in der Verfüllung bilden und die Durchlässigkeit des Verschlusses erhöhen.

5.10.8 Einwirkender Prozess: Konvergenz (Grubenbau)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerung nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im Gebirge einsetzt.

Konvergenz verringert das Hohlraum- und Porenvolumen der Verfüllung, erhöht dessen Einspannung und schließt die ALZ.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Konvergenzentwicklung im bestimmungsgemäßen Betrieb ist eine Grundlage der Auslegungen. Porosität und Permeabilität verringern sich, Versatzdruck und Einspan-

nung erhöhen sich. Daraus resultieren Änderungen der mechanischen und hydraulischen Eigenschaften der Verfüllung.

Versagen des Verschlusses einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung: Falls die Konvergenzrate geringer ist als erwartet, kann sich das Schließen der Kontaktzone verzögern und die Durchlässigkeit des Verschlusses erhöhen.

5.10.9 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (Grubenbau)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffen, in die Grubenbereiche.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Aus Klüften bzw. Störungen und Porenspeichern können Fluide zutreten. Geringe Lösungszutritte haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase. Sie beeinflussen chemische Prozesse, wie die Prozesse „Metallkorrosion“ (Kapitel 5.10.5), „Zementkorrosion“ (Kapitel 5.10.6), „Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen“ (Kapitel 5.10.17) und „Alteration der Auflockerungszone“ (Kapitel 5.10.18). Bentonit bzw. Zement eines Dichtelements können auch erodiert werden.

Versagen des Verschlusses einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung: Lösungen können den Verschluss erodieren und die Dichtfunktion beeinträchtigen.

Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. In Grubenbauen werden Fluidzutritte ausschließlich dem Wirtsgestein zugeordnet (Kapitel 5.4). Sollten sich Zündfunken bilden, können Gaszutritte die Betriebssicherheit beeinflussen (Kombination von EVI).

5.10.10 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (Grubenbau)

Das FEP betrifft die Degradation organischer Bestandteile aus Versatz, Verschlüssen und Wirtsgestein.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Tonhaltiges Verfüllmaterial kann organische Bestandteile enthalten. Die Mengen sind sehr gering. Die Auswirkungen haben keine sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

5.10.11 Einwirkender Prozess: Entfernen von technischen Einrichtungen (Grubenbau)

Das FEP umfasst die Abläufe bei der Demontage von Lutten, Leitungen, Schienen, Messinstrumenten etc. in Strecken und Infrastrukturbereichen sowie der Messinstrumente aus den Erkundungsbohrungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Das Entfernen der technischen Einrichtungen in den Strecken und Infrastrukturbereichen hat lediglich Auswirkungen auf die Streckenkontur und nicht auf die Erkundungsbohrungen. Die Messinstrumente im Bohrloch werden vor der Verfüllung entfernt.

5.10.12 Einwirkender Prozess: Einbringen von Versatz (Grubenbau)

Das FEP betrifft die Verfüllung von Grubenbauen mit Feststoffen in der Betriebsphase. Das Einbringen von Versatz erfolgt nach dem Einlagerungsbetrieb, bzw. während des Verschließens der Grubenräume im Rückbau.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt: die Bohrungen werden bei der Auffahrung überfahren oder verfüllt und verschlossen. Die Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

5.10.13 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungsbohrung (Grubenbau)

Das FEP umfasst die Abläufe beim Stoßen und Verfüllen bzw. Verschließen von Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch das Verfüllen werden Hohlräume geschlossen, die Kontur stabilisiert und die hydraulische Wegsamkeit abgedichtet.

Versagen des Verschlusses einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung: Menschliche und technische Fehler bei der Verfüllung können die Dichtfunktion beeinträchtigen.

5.10.14 Einwirkender Prozess: Errichten eines Streckenverschlusses

Das FEP umfasst die Abläufe beim Einbau von Dichtelementen und Widerlagern in Strecken etc.

Streckenverschlüsse umfassen Migrationssperren, werden erst zum Abschluss des Abwerfens eines Grubenbaus eingebaut und behindern Fluidbewegungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt: die Bohrungen werden bei Auffahrungen überfahren oder verfüllt und verschlossen.

5.10.15 Einwirkender Prozess: Errichten eines Verschlusses im Bereich einer Störungszone

Das FEP umfasst die Abläufe beim Einbau von Dichtelementen und/oder Schotter in Strecken in Kristallingestein mit Störungszone.

Die Verschlüsse behindern die Ausbreitung von Zutrittswässern und -lösungen. Sie werden als abschließende Maßnahme beim Abwerfen einer Strecke/Kammer eingebaut.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind zeitlich entkoppelt: die Bohrungen sind entweder durch die Strecke überfahren oder verfüllt und abgedichtet.

5.10.16 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (Grubenbau)

Das FEP beschreibt die Übertragung von Wärme zwischen den Komponenten und Grubenbauen. Wärme wird von den eingelagerten Endlagergebinden und vom Gebirge abgegeben und in nicht abgeworfenen Teilen des Grubengebäudes über Wetter in die Atmosphäre transportiert. Die Wärmeentwicklung wird bei der Auslegung technischer Komponenten berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der Wärmestrom verändert die Temperatur und somit die Bedingungen chemischer Prozesse. Daraus resultieren Mineralumbildungen und Volumenveränderungen, siehe Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 5.10.19). Die Auswirkungen

haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

5.10.17 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Grubenbau)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet. Im eingespannten Zustand führt es zur Quelldruckänderung, während im freien Zustand eine Volumenänderung resultiert.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Bei der Verfüllung von Erkundungsbohrungen werden u. a. tonhaltige Materialien verwendet. Das Schrumpfen und Quellen verändert hydraulische und mechanische Eigenschaften der Verfüllung und der Verschlüsse.

Versagen des Verschlusses einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung: Menschliche Fehler bei der Einschätzung des Quellens können die Dichtfunktion beeinträchtigen.

5.10.18 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (Grubenbau)

Das FEP umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen in der ALZ durch Wetter und wässrige Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Auswirkungen auf die Bohrungen sind geringfügig und haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

5.10.19 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (Grubenbau)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird die Volumenzunahme bzw. Volumenabnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur

hervorgerufen wird. Die Volumenänderungen werden bei der Auslegung technischer Komponenten berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Thermische Volumenveränderungen beeinflussen Porenraum und Mineralstruktur der Verfüllung und der ALZ. Dadurch können sich die hydraulischen und mechanischen Eigenschaften verändern, z. B. Durchlässigkeit und Festigkeit.

Versagen des Verschlusses einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung: Thermische Kontraktion der Verfüllung kann zur Rissbildung oder Kanalisierung führen und die Dichtfunktion beeinträchtigen.

5.11 Komponente „Streckenverschluss"

Die Streckenverschlüsse umfassen Dichtelemente, die redundant ausgelegt sind, und Widerlager. Es werden folgende Baustoffe unterstellt: Sorelbeton oder Salzbeton im Wirtsgestein Steinsalz sowie zementbasierte Baustoffe, Bentonit oder Bitumen bzw. Asphalt im Wirtsgestein Ton und Kristallin.

Streckenverschlüsse in Wetter- und Richtstrecken werden nach dem Stilllegen eines Einlagerungsfeldes eingebaut. Sie dienen der hydraulischen Abtrennung des stillgelegten Einlagerungsfeldes vom restlichen Grubengebäude.

5.11.1 Einwirkender Prozess: Auffahrung von Strecken (Grubenbau)

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Streckenauffahrung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Streckenauffahrungen und das Errichten von Streckenverschlüssen sind zeitlich entkoppelt. Beim Auffahren der Strecken müssen jedoch Anforderungen für den Einbau des Streckenverschlusses erfüllt werden, z. B. gebirgsschonende Verfahren.

Versagen des Streckenverschlusses: Menschliche und technische Fehler beim Auffahren können den Einbauort beeinträchtigen.

5.11.2 Einwirkender Prozess: Ausbau (Grubenbau)

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Streckenausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Streckenausbau und das Errichten von Streckenverschlüssen sind zeitlich entkoppelt. Beim Ausbau der Strecken und beim Entfernen des Ausbaus müssen Anforderungen für Streckenverschlüsse erfüllt werden, z. B. gebirgsschonende Verfahren.

Versagen des Streckenverschlusses: Menschliche und technische Fehler beim Ausbau und beim Entfernen des Ausbaus können den Einbauort beeinträchtigen.

5.11.3 Einwirkender Prozess: Transportverkehr im Überwachungs- und Kontrollbereich

Das FEP beinhaltet den Transport von Endlagergebinden, Transferbehältern, Haufwerk, Material, Personal usw. in diesen Grubenbauen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Streckenverschlüsse werden nach dem Ende des Betriebs in einem Einlagerungsfeld errichtet. Die Auswirkungen des Einlagerungsbetriebs (Transportverkehrs) in anderen Einlagerungsfeldern haben keine sicherheitstechnische Bedeutung für die Streckenverschlüsse während der Betriebsphase.

5.11.4 Einwirkender Prozess: Bewetterung (Grubenbau)

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Während der Betriebsphase müssen die Grubenbaue bewettert werden. Hierzu sind umfangreiche Einbauten und ggf. zusätzliche Grubenbaue erforderlich.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

In abgeworfenen Grubenbereichen findet keine Bewetterung statt. Die Stirnseite der Verschlüsse zum offenen Grubengebäude kann durch Wetter dehydriert werden. Diese Auswirkung hat keine sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

5.11.5 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion (Grubenbau)

Das FEP beinhaltet die (elektro-)chemischen Reaktionen von Metallen mit den Stoffen der Umgebung bei Gegenwart von wässriger Lösung oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Streckenverschlüsse enthalten keine Metalle.

5.11.6 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion (Grubenbau)

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit wässrigen Lösungen.

Für die Verschlüsse werden u. a. zementbasierte Baustoffe verwendet. Die Änderung der Hydrochemie kann die Korrosionsbeständigkeit beeinflussen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Für Verschlussbauwerke im Ton und Kristallin werden Widerlager aus zementbasiertem Beton errichtet. Korrosion des Widerlagers kann die Einspannung der Dichtelemente reduzieren. Die Auswirkungen werden bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen des Streckenverschlusses: Hohe Korrosionsraten können das Widerlager beschädigen und die Dichtfunktion des Verschlusses beeinträchtigen.

5.11.7 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (Grubenbau)

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustands in den Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten. Die Einwirkung thermomechanischer Beanspruchungen wird beim Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 5.11.19) behandelt.

Spannungsänderungen in technischen Komponenten können aus betrieblichen Lasten (z. B. Auffahrung), chemischen Prozessen (z. B. Quellen von Baustoffen, Gasbildung) oder der Geosphäre (z. B. litho- bzw. hydrostatischer Druck) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Spannungsumlagerungen bewirken Änderungen der mechanischen und hydraulischen Eigenschaften der Verschlüsse und können zur Rissbildung oder Kanalisierung in Bauwerken führen.

Versagen des Streckenverschlusses: Spannungsänderungen, die Entfestigungen, Risse und Kanalisierungen bilden, können die Dichtfunktion beeinträchtigen.

5.11.8 Einwirkender Prozess: Konvergenz (Grubenbau)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerung nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im Gebirge einsetzt.

Konvergenz verringert das Hohlraum- und Porenvolumen des Verschlusses, erhöht dessen Einspannung und schließt die ALZ.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Konvergenzentwicklung im bestimmungsgemäßen Betrieb ist eine Grundlage der Auslegungen. Porosität und Permeabilität verringern sich, Versatzdruck und Einspannung erhöhen sich. Daraus resultieren Änderungen der mechanischen und hydraulischen Eigenschaften der Verschlüsse.

Versagen des Streckenverschlusses: Falls die Konvergenzrate geringer ist als erwartet, kann sich das Schließen der Kontaktzone verzögern und die Dichtfunktion des Verschlusses beeinträchtigen.

5.11.9 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (Grubenbau)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffen, in die Grubenbereiche.

Durch vorlaufende Erkundung sind starke Lösungs- und Gaszutritte nicht zu unterstellen. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Aus einer Kluft bzw. Störung im Ton- und Kristallingestein können Lösungen bzw. Wässer zutreten und den Bentonit eines Dichtelements erodieren und alterieren.

Versagen des Streckenverschlusses: Erosion der Bauwerke kann die Dichtfunktion des Verschlusses beeinträchtigen.

Auswirkungen der veränderten Hydrochemie haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Sie beeinflussen aber chemische Prozesse, wie die Prozesse „Zementkorrosion“ (Kapitel 5.11.6), „Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen“ (Kapitel 5.11.17) und „Alteration der Auflockerungszone“ (Kapitel 5.11.18).

5.11.10 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (Grubenbau)

Das FEP betrifft die Degradation organischer Bestandteile aus Versatz, Verschlüssen und Wirtsgestein.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Für die Verschlüsse in den Wirtsgesteinen Ton und Kristallin sind u. a. Dichtelemente aus Bitumen bzw. Asphalt vorgesehen. Die Degradation von Bitumen bzw. Asphalt verläuft sehr langsam und die hydraulischen und mechanischen Eigenschaften verändern sich erst nach der Betriebsphase in relevantem Ausmaß. Diese Auswirkungen haben keine sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

5.11.11 Einwirkender Prozess: Entfernen von technischen Einrichtungen (Grubenbau)

Das FEP umfasst die Abläufe bei Demontage der Strecken und Infrastrukturbereiche von Lutten, Leitungen, Schienen, Messinstrumenten etc.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Das Entfernen der Einrichtungen findet vor dem Einbau der Verschlussbauwerke statt.

5.11.12 Einwirkender Prozess: Einbringen von Versatz (Grubenbau)

Das FEP betrifft die Verfüllung von Grubenbauen mit Feststoffen in der Betriebsphase. Das Einbringen von Versatz erfolgt nach dem Einlagerungsbetrieb, bzw. während des Verschließens der Grubenräume im Rückbau.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt: Versatz wird vor der Errichtung des Streckenverschlusses eingebracht.

5.11.13 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungsbohrung (Grubenbau)

Das FEP umfasst die Abläufe beim Stoßen und Verfüllen bzw. Verschließen von Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der Bohransatz kann im Einbauort eines Verschlusses anschlagen, aber die Bohrungen werden vor dem Errichten der Verschlüsse überfahren oder verfüllt und verschlossen.

Versagen des Streckenverschlusses: Menschliche und technische Fehler beim Verschließen einer Bohrung können zu einer Umläufigkeit des Verschlusses führen und dessen Dichtfunktion beeinträchtigen.

5.11.14 Einwirkender Prozess: Errichten eines Streckenverschlusses

Das FEP umfasst die Abläufe beim Einbau von Dichtelementen und Widerlagern in Strecken etc.

Streckenverschlüsse werden als abschließende Maßnahme beim Abwerfen eines Grubengebäudeteils eingebaut. Die Bauwerke stabilisieren die Kontur und verhindern Lösungsflüsse.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der geschlossene Ausbau in Auffahrungen im Tongestein sowie der Ausbau und die ALZ in Salzgesteinen müssen entfernt (geraubt) werden, um die Streckenverschlüsse anforderungsgerecht einzubauen. Dabei werden Spannungsumlagerungen im umgebenden Gebirge ausgelöst, die u. U. zum Einsturz des geraubten Abschnitts führen.

Versagen des Streckenverschlusses: Fehlerhafte Auslegung und Interpretation der geologischen Bedingungen können die Dichtfunktion beeinträchtigen.

5.11.15 Einwirkender Prozess: Errichten eines Verschlusses im Bereich einer Störungszone

Das FEP umfasst die Abläufe beim Einbau von Dichtelementen und/oder Schotter in Strecken in Kristallingestein mit Störungszone.

Die Verschlüsse behindern die Ausbreitung von Zutrittswässern und -lösungen. Sie werden als abschließende Maßnahme beim Abwerfen eines Einlagerungsfeldes eingebaut.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt: die Verschlüsse werden an unterschiedlichen Orten und zu unterschiedlichen Zeiten eingebaut.

5.11.16 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (Grubenbau)

Das FEP beschreibt die Übertragung von Wärme zwischen den Komponenten und Grubenbauen. Wärme wird von den eingelagerten Endlagergebinden und vom Gebirge abgegeben und in nicht abgeworfenen Teilen des Grubengebäudes über Wetter in die Atmosphäre transportiert. Die Wärmeentwicklung wird bei der Auslegung technischer Komponenten berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der Wärmestrom verändert die Temperatur und die Bedingungen chemischer Prozesse. Daraus resultieren lokal Mineralumbildungen und Volumenänderungen von Feststoffen, siehe Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 5.11.19). Diese Auswirkungen haben an den Streckenverschlüssen keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

5.11.17 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Grubenbau)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet. Im eingespannten Zustand führt es zur Quelldruckänderung, während im freien Zustand eine Volumenänderung resultiert.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Für die Dichtelemente wird u. a. Bentonit verwendet. Durch Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen verändern sich Quelldruck, Mineralgefüge und Einspannung des Bauwerks sowie hydraulische und mechanische Eigenschaften.

Versagen des Streckenverschlusses: Menschliche Fehler bei der Einschätzung des Quellvermögens von Bentonit können die Dichtfunktion beeinträchtigen.

5.11.18 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (Grubenbau)

Das FEP umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen in der ALZ durch Wetter und wässrige Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Alterationen in der ALZ können Entfestigungen im Einbauort von Dichtelementen bewirken und hydraulische und mechanische Eigenschaften der Verschlüsse verändern.

Versagen des Streckenverschlusses: Entfestigungen in der ALZ können die Dichtfunktion beeinträchtigen.

5.11.19 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (Grubenbau)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird die Volumenzunahme bzw. Volumenabnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen wird. Die Volumenänderungen werden bei der Auslegung technischer Komponenten berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Thermische Volumenänderungen beeinflussen Porenraum und Mineralgefüge der Bauwerke und bilden ggf. Risse. Dadurch können sich hydraulische und mechanische Eigenschaften der Verschlüsse verändern.

Versagen des Streckenverschlusses: Thermische Kontraktion kann zur Rissbildung oder Kanalisierung führen und die Dichtfunktion beeinträchtigen.

5.12 Komponente „Verschlüsse im Bereich von Störungszonen"

Solche Verschlüsse werden für die hydraulische Abtrennung von wasserführenden Störungszonen im Kristallin eingebaut. Sie umfassen Dichtelemente, Widerlager und Schotterfächer in Grubenbereichen mit solchen Störungszonen. Es werden folgende Baustoffe unterstellt: Bentonit oder Bitumen bzw. Asphalt für die Dichtelemente sowie Zement oder Schotter für Widerlager.

Die Verschlüsse im Bereich der Störungszonen werden eingebaut, um abgeworfene Einlagerungsbereiche von wasserführenden Störungszonen hydraulisch zu trennen.

Die Dichtfunktion der Verschlüsse ist vor allem für die Nachverschlussphase relevant; unkontrollierte Lösungszutritte in das Grubengebäude während der Betriebsphase werden durch temporär wirksame Abdichtmaßnahmen für eine wasserführende Störungszone verhindert.

5.12.1 Einwirkender Prozess: Auffahrung (Grubenbau)

Das FEP umfasst alle Abläufe bei der Auffahrung der Grubenbaue.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Streckenauffahrungen und das Errichten von Verschlüssen sind zeitlich entkoppelt. Beim Auffahren der Strecken im Bereich von Störungszonen müssen jedoch Anforderungen für den Einbau des Verschlusses erfüllt werden, z. B. gebirgsschonende Verfahren. Die Kontur wird vor Errichtung des Verschlusses kontrolliert.

Versagen des Verschlusses im Bereich von Störungszonen: Menschliche oder technische Fehler beim Auffahren können die Kontur beschädigen und die Dichtfunktion beeinträchtigen.

5.12.2 Einwirkender Prozess: Ausbau (Grubenbau)

Das FEP umfasst alle Abläufe beim Ausbau der Grubenbaue.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Beim Ausbau der Strecken und beim Entfernen des Ausbaus müssen Anforderungen für Verschlüsse erfüllt werden, z. B. gebirgsschonende Verfahren.

Versagen des Verschlusses im Bereich von Störungszonen: Menschliche oder technische Fehler beim Ausbau und beim Entfernen des Ausbaus können die Kontur beschädigen und die Dichtfunktion beeinträchtigen.

5.12.3 Einwirkender Prozess: Transportverkehr im Überwachungs- und Kontrollbereich

Das FEP beinhaltet den Transport von Endlagergebinden, Transferbehältern, Haufwerk, Material, Personal usw. in diesen Grubenbauen.

Erschütterungen, Luftfeuchte, Betriebsstoffe, Gase usw. während des Betriebs können bereits eingebaute Verschlüsse beeinflussen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Nach Errichtung des Verschlusses findet kein Transportverkehr mehr im Bereich der Verschlüse statt.

5.12.4 Einwirkender Prozess: Bewetterung (Grubenbau)

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Abgeworfene Grubenbereiche werden nicht mehr bewettert. Die Stirnseite der Verschlüsse zum offenen Grubengebäude kann durch Wetter dehydriert werden. Diese Auswirkungen haben keine sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

5.12.5 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion (Grubenbau)

Das FEP beinhaltet die (elektro-)chemische Reaktion von Metallen mit den Stoffen in den Grubenbauen bei Gegenwart von wässriger Lösung oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Verschlüsse weisen keine Metallteile auf.

5.12.6 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion (Grubenbau)

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit wässrigen Lösungen.

Für die Verschlüsse werden u. a. zementbasierte Baustoffe verwendet. Die Änderung der Hydrochemie kann die Korrosionsbeständigkeit beeinflussen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Für diese Verschlüsse werden Widerlager aus zementbasiertem Beton errichtet. Die Korrosion des Widerlagers kann die Einspannung der Dichtelemente reduzieren. Die Auswirkungen werden bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen des Verschlusses im Bereich von Störungszonen: Hohe Korrosionsraten können das Widerlager beschädigen und die Dichtfunktion des Verschlusses beeinträchtigen.

5.12.7 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (Grubenbau)

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustands in den Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten. Die Einwirkung thermomechanischer Beanspruchungen wird beim Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 5.11.19) behandelt.

Spannungsänderungen in technischen Komponenten können aus betrieblichen Lasten (z. B. Auffahrung), chemischen Prozessen (z. B. Quellen von Baustoffen, Gasbildung) oder der Geosphäre (z. B. litho- bzw. hydrostatischer Druck) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Spannungsumlagerungen bewirken Änderungen der mechanischen und hydraulischen Eigenschaften dieser Verschlüsse und können zur Rissbildung oder Kanalisierung in Bauwerken führen.

Versagen des Verschlusses im Bereich von Störungszonen: Spannungsänderungen, die Entfestigungen, Risse und Kanalisierungen bilden, können die Dichtfunktion beeinträchtigen.

5.12.8 Einwirkender Prozess: Konvergenz (Grubenbau)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerung nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im Gebirge einsetzt.

Konvergenz verringert das Hohlraum- und Porenvolumen des Verschlusses, erhöht dessen Einspannung und schließt die ALZ.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Im Kristallingestein ist die Konvergenz unbedeutend.

5.12.9 Einwirkender Prozess: Entfernen von technischen Einrichtungen (Grubenbau)

Das FEP umfasst die Abläufe bei Demontage der Strecken und Infrastrukturbereiche von Lutten, Leitungen, Schienen, Messgeräten etc.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Das Entfernen der Einrichtungen findet vor der Errichtung der Verschlüsse statt.

5.12.10 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (Grubenbau)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssige KWS, in die Grubenbereiche.

Durch temporär wirksame Abdichtmaßnahmen für wasserführende Störungszonen werden unkontrollierte Lösungszutritte während der Betriebsphase verhindert. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Aus Klüften bzw. Störungen im Kristallingestein können Lösungen bzw. Wässer zutreten und den Bentonit eines Dichtelements erodieren und alterieren.

Versagen des Verschlusses im Bereich von Störungszonen: Erosion der Bauwerke kann die Dichtfunktion des Verschlusses beeinträchtigen.

Auswirkungen der veränderten Hydrochemie haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Sie beeinflussen aber chemische Prozesse, wie die Prozesse „Zementkorrosion“ (Kapitel 5.12.6), „Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen“ (Kapitel 5.12.17), und „Alteration der Auflockerungszone“ (Kapitel 5.12.18).

5.12.11 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (Grubenbau)

Das FEP betrifft die Degradation organischer Bestandteile aus Versatz, Verschlüssen und Wirtsgestein.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Für die Verschlüsse im Wirtsgestein Kristallin sind u. a. Dichtelemente aus Bitumen bzw. Asphalt vorgesehen. Die Degradation von Bitumen bzw. Asphalt verläuft sehr langsam und die hydraulischen und mechanischen Eigenschaften verändern sich erst

nach der Betriebsphase in relevantem Ausmaß. Diese Auswirkungen haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

5.12.12 Einwirkender Prozess: Einbringen von Versatz (Grubenbau)

Das FEP betrifft die Verfüllung von Grubenbauen mit Feststoffen in der Betriebsphase. Das Einbringen von Versatz erfolgt nach dem Einlagerungsbetrieb bzw. während des Verschließens der Grubenräume im Rückbau.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Das Einbringen des Versatzes findet u. a. auch direkt am Widerlager statt. Eine sicherheitstechnisch bedeutsame Beeinträchtigung ist nicht abzuleiten.

5.12.13 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungsbohrung (Grubenbau)

Das FEP umfasst die Abläufe beim Stoßen und Verfüllen bzw. Verschließen von Erkundungsbohrungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der Bohransatz für eine Erkundungsbohrung kann im Einbauort eines Verschlusses anschlagen, aber diese Bohrungen sind überfahren oder vor dem Errichten der Verschlüsse verfüllt und verschlossen (Kapitel 5.10).

Versagen des Verschlusses im Bereich von Störungszonen: Menschliche oder technische Fehler beim Verschließen einer Bohrung können eine Umläufigkeit des Verschlusses bilden und dessen Dichtfunktion beeinträchtigen.

5.12.14 Einwirkender Prozess: Errichten eines Streckenverschlusses

Das FEP umfasst die Abläufe beim Einbau von Dichtelementen und Widerlagern in Strecken etc.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind räumlich entkoppelt. Diese Verschlüsse werden an unterschiedlichen Orten eingebaut.

5.12.15 Einwirkender Prozess: Errichten eines Verschlusses im Bereich einer Störungszone

Das FEP umfasst die Abläufe beim Einbau von Dichtelementen und/oder Schotter in Grubenbereiche mit Störungszone.

Diese Verschlüsse werden als abschließende Maßnahme beim Abwerfen eines Grubenbereiches eingebaut. Die Bauwerke stabilisieren die Kontur und verhindern Lösungsflüsse.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der Ausbau im Bereich von Störungszonen im Kristallin – sofern Ausbau erfolgte – muss im Bereich der Dichtelemente entfernt (geraubt) werden, um die Verschlüsse anforderungsgerecht einzubauen. Dabei werden Spannungsumlagerungen im Bereich einer Störungszone ausgelöst, die u. U. zum Einsturz des geraubten Abschnitts führen.

Versagen des Verschlusses im Bereich von Störungszonen: Menschliche Fehler bei der Auslegung und bei der Interpretation geologischer Bedingungen sowie technische Fehler beim Einbau können die Dichtfunktion beeinträchtigen.

5.12.16 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (Grubenbau)

Das FEP beschreibt die Übertragung von Wärme zwischen den Komponenten und Grubenbauen. Wärme wird von den eingelagerten Endlagergebinden und vom Gebirge abgegeben und in nicht abgeworfenen Teilen des Grubengebäudes über Wetter in die Atmosphäre transportiert. Die Wärmeentwicklung wird bei der Auslegung technischer Komponenten berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der Wärmestrom verändert die Temperatur und Bedingungen chemischer Prozesse und es resultieren lokal Mineralumbildungen und Volumenänderungen, siehe FEP „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 5.12.19). Die Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

5.12.17 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Grubenbau)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet. Im

eingespannten Zustand führt es zur Quelldruckänderung, während im freien Zustand eine Volumenänderung resultiert.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Für die Dichtelemente wird u. a. Bentonit verwendet. Durch Quellen und Schrumpfen der Tonminerale verändern sich Quelldruck, Mineralgefüge und Einspannung des Bauwerks sowie hydraulische und mechanische Eigenschaften der Verschlüsse.

Versagen des Verschlusses im Bereich von Störungszonen: Menschliche Fehler bei der Einschätzung des Quellens von Bentoniten können die Dichtfunktion beeinträchtigen.

5.12.18 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (Grubenbau)

Das FEP umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen in der ALZ durch Wetter und wässrige Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Alterationen in der ALZ können Entfestigungen und Umläufigkeiten im Einbauort von Dichtelementen bewirken und hydraulische und mechanische Eigenschaften der Verschlüsse verändern. Im Umfeld von Störungszonen kann sich die Entfestigung deutlich erhöhen.

Versagen des Verschlusses im Bereich von Störungszonen: Mineralumwandlungen und Entfestigungen in der ALZ können die Dichtfunktion beeinträchtigen.

5.12.19 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (Grubenbau)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird die Volumenzunahme bzw. Volumenabnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen wird.

Die Volumenänderungen werden bei der Auslegung technischer Komponenten berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Thermische Volumenänderungen beeinflussen Porenraum und Mineralgefüge der Bauwerke und bilden ggf. Risse. Dadurch können sich hydraulische und mechanische Eigenschaften der Verschlüsse verändern.

Versagen des Verschlusses im Bereich von Störungszonen: Thermische Kontraktion des Verfüllmaterials kann zur Rissbildung oder Kanalisierung führen und die Dichtfunktion beeinträchtigen.

5.13 Komponente „Endlagergebinde und Transferbehälter (Grubenbau)"

Die Komponente umfasst die Endlagergebinde und Transferbehälter einschließlich der Materialien und Eigenschaften während des Transports. Endlagergebinde, die ohne Transferbehälter transportiert werden, sind hinreichend abgeschirmt. Transferbehälter gewährleisten die Abschirmung vor ionisierender Strahlung während des Transports nicht hinreichend abgeschirmter Endlagerbehälter.

Es werden folgende Behältermaterialien angenommen: Stahl, Gusseisen, Kupfer (nur Kristallin). Als Moderatormaterial wird z. B. Polyethylen eingesetzt. Die Gebinde enthalten weiterhin Metalle, Borosilikatglas etc.

Aufgrund der großen Zahl eingelagerter Endlagerbehälter ist nicht auszuschließen, dass eine geringe Anzahl von Behältern auf Grund von Fertigungs- und Messfehlern unerkannte Defekte aufweist. Die Einlagerung undichter Behälter ist auf Grund der radiologischen Überwachung aber als sehr gering wahrscheinlich einzuschätzen. Ohne weitere Einwirkung werden die Behälter als dicht angenommen. Die Behälter mit unerkannten Defekten können aber bei Einwirkungen versagen, gegen die anforderungsgerecht erstellte Behälter ausgelegt sind.

5.13.1 Einwirkender Prozess: Auffahrung (Grubenbau)

Das FEP umfasst alle Abläufe bei der Auffahrung der Grubenbaue.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt. Es befinden sich noch keine Gebinde im Grubenbau.

5.13.2 Einwirkender Prozess: Ausbau (Grubenbau)

Das FEP umfasst alle Abläufe beim Ausbau der Grubenbaue.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt. Es befinden sich noch keine Gebinde im Grubenbau.

5.13.3 Einwirkender Prozess: Transportverkehr im Überwachungs- und Kontrollbereich

Das FEP beinhaltet den Transport von Endlagergebinden, Transferbehältern, Haufwerk, Material, Personal usw. in diesen Grubenbauen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Gebinde und Behälter sind für den Transport in einem Endlagerbergwerk ausgelegt. Beeinträchtigungen der Schutzfunktion sind im bestimmungsgemäßen Betrieb ausgeschlossen.

Versagen des Endlagergebindes: Durch technische Defekte oder menschliche Fehler bei der Handhabung können Behälter beschädigt werden.

Versagen des Transferbehälters: Durch technische Defekte oder menschliche Fehler bei der Handhabung können Behälter beschädigt werden.

5.13.4 Einwirkender Prozess: Bewetterung (Grubenbau)

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Während des Betriebs müssen die Grubenbaue bewettert werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Es besteht ein hoher Temperaturgradient zwischen Endlager- und Transferbehältern mit dem wärmeentwickelnden Inventar und dem Wetterstrom. Dies bewirkt sowohl Verdunstung oder Kondensation von Feuchtigkeit (vgl. u. a. Kapitel 5.13.5) als auch thermomechanische Spannungen der Behälterwandung (vgl. Kapitel 5.3.19). Diese Einwirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

5.13.5 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion (Grubenbau)

Das FEP beinhaltet die (elektro-)chemischen Reaktionen von Metallen mit den Stoffen in Grubenbauen bei Gegenwart von wässriger Lösung oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

Die Behälter der Endlagergebinde und die Transferbehälter bestehen aus Metallen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Feuchtigkeit kommt in der Grubenluft vor und wird Behälter korrodieren. Die Behälter sind für die Korrosion während des Transports ausgelegt. Aufgrund der Auslegung der Behälter ist keine unmittelbare sicherheitstechnische Beeinträchtigung zu erwarten.

5.13.6 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion (Grubenbau)

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen in Grubenbauen durch Kontakt mit wässrigen Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Endlager- und Transferbehälter enthalten keinen Zement.

5.13.7 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (Grubenbau)

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustandes in Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten. Die Einwirkung thermomechanischer Beanspruchungen wird beim Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 5.13.19) behandelt.

Spannungsänderungen können aus betrieblichen Lasten (z. B. Auffahrung), chemischen Prozessen (z. B. Quellen von Baustoffen, Gasbildung) oder der Geosphäre (z. B. litho- bzw. hydrostatischer Druck) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt. Spannungsänderung im Wirtsgestein oder in technischen Komponenten wirkt beim Transport nicht auf Endlagergebinde und Transferbehälter ein.

5.13.8 Einwirkender Prozess: Konvergenz (Grubenbau)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im Gebirge einsetzt.

Konvergenz führt zur Abnahme des Hohlraum- und Porenvolumens.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt. Konvergenz von Grubenbauen wirkt beim Transport nicht auf Endlagergebinde und Transferbehälter ein.

5.13.9 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (Grubenbau)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssige Kohlenwasserstoffen, in die Grubenbereiche.

Durch vorlaufende Erkundung sind starke Lösungs- und Gaszutritte nicht zu unterstellen. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase. Durch Kontakt mit Wasser bzw. Lösung können jedoch Behälter korrodieren, siehe Prozess „Metallkorrosion“ (Kapitel 5.13.5).

5.13.10 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (Grubenbau)

Das FEP betrifft die Degradation organischer Bestandteile aus Behältern, Versatz, Verschlüssen (z. B. Asphalt) und Wirtsgestein (z. B. Kohlenwasserstoffe).

Das vorgesehene Moderatormaterial in den Gebinden enthält organische Bestandteile.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Degradation kann die Eigenschaften der Gebinde verändern, verläuft jedoch sehr langsam. Die Auswirkungen haben keine sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

5.13.11 Einwirkender Prozess: Entfernen von technischen Einrichtungen (Grubenbau)

Das FEP umfasst die Abläufe bei Demontage der Strecken und Infrastrukturbereiche von Lutten, Leitungen, Schienen, Messgeräten etc.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt. Das Entfernen technischer Einrichtungen erfolgt nicht in der Nähe von Endlagergebinden.

5.13.12 Einwirkender Prozess: Einbringen von Versatz (Grubenbau)

Das FEP betrifft die Verfüllung von Grubenbauen mit Feststoffen in der Betriebsphase. Das Einbringen von Versatz erfolgt nach dem Einlagerungsbetrieb bzw. während des Verschließens der Grubenräume im Rückbau.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und die Komponente sind entkoppelt.

5.13.13 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Grubenbau)

Das FEP umfasst die Abläufe beim Stoßen und Verfüllen bzw. Verschließen von Erkundungs- und Überwachungsbohrungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt: Die Bohrungen sind vor dem Beginn des Einlagerungsbetriebes verfüllt und verschlossen bzw. nicht mehr existent (überfahren).

5.13.14 Einwirkender Prozess: Errichten eines Streckenverschlusses

Das FEP umfasst die Abläufe beim Einbau von Dichtelementen und Widerlagern in Strecken etc.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt: Verschlussbauwerke werden erst nach dem Abschluss des Einlagerungsbetriebes in einem Einlagerungsfeld errichtet.

5.13.15 Einwirkender Prozess: Errichten eines Verschlusses im Bereich einer Störungszone

Das FEP umfasst die Abläufe beim Einbau von Dichtelementen und/oder Schotter in Grubenbereiche mit Störungszone nach dem Berauben.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt: Diese Verschlüsse werden erst nach dem Abschluss des Einlagerungsbetriebes in einem Einlagerungsfeld errichtet.

5.13.16 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (Grubenbau)

Das FEP beschreibt die Übertragung von Wärme zwischen den Komponenten und den Grubenbauen. Wärme wird von Endlagergebinden und vom Gebirge abgegeben und in nicht abgeworfenen Teilen des Grubengebäudes über die Wetter in die Atmosphäre transportiert. Die Wärmeentwicklung wird bei der Auslegung technischer Komponenten berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Es besteht ein hoher Temperaturgradient zwischen Endlager- und Transferbehältern sowie der Umgebung, bestimmt durch die Wärmeleistung der Behälter und die Wetter. Die Temperaturdifferenzen können Volumen- und Spannungsänderungen bewirken (Kapitel 5.13.19) und Bedingungen chemischer Prozesse beeinflussen (Kapitel 5.13.5). Die Endlagergebinde und Transferbehälter sind gegen die Einwirkungen der wärmeentwickelnden Abfälle ausgelegt und weisen hohe Sicherheitsfaktoren auf. Wenn die Auslegungstemperatur des Behälters eingehalten wird, haben die thermischen Auswirkungen in den Grubenbauen keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

5.13.17 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Grubenbau)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet. Im eingespannten Zustand führt es zunächst zur Quelldruckänderung, während im freien Zustand eine Volumenänderung resultiert.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Endlagergebinde und Transferbehälter enthalten keine tonhaltigen Komponenten.

5.13.18 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (Grubenbau)

Das FEP umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen in der ALZ durch Wetter und wässrige Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Prozess und Komponente sind entkoppelt: Endlagergebinde und Transferbehälter sind kein Bestandteil der ALZ.

5.13.19 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (Grubenbau)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird die Volumenzunahme bzw. Volumenabnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen wird.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Thermomechanische Spannungen wirken auf die Behälterwandung. Endlagergebinde und Transferbehälter sind auf die Einwirkungen der wärmeentwickelnden radioaktiven Abfälle ausgelegt und weisen hohe Sicherheitsfaktoren auf. Die Auswirkungen haben bei Einhaltung der Auslegungstemperatur während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

5.14 Komponente „Fahrzeuge (Grubenbau)"

Es werden drei Fahrzeugkategorien unterschieden:

- Bergbaumaschinen (Teilschnittmaschine, Bohrmaschine, …)
- Transportfahrzeuge für Endlagergebinde und Transferbehälter
- Einlagerungsmaschinen

Die Einwirkungen auf die Fahrzeuge werden umfassend bei den Einlagerungsbereichen in Kapitel 6.20 diskutiert.

6 Einlagerungsbereiche

In diesem Kapitel werden relevante Einwirkungen von Innen (EVI) für das Teilsystem „Einlagerungsbereiche“ systematisch und detailliert abgeleitet. Das Teilsystem umfasst die Einlagerungsfelder mit Einlagerungsstrecken, Bohrlochüberfahrungsstrecken, Einlagerungsbohrlöchern und die Querschläge zur Anbindung an die Richtstrecken. Im Teilsystem „Einlagerungsbereiche“ werden Komponenten unterschieden, siehe Tabelle 6.1. Diese werden durch Prozesse und Ereignisse beeinflusst. Durch das Zusammenwirken von Komponenten und Prozessen bzw. Ereignissen werden EVI ausgelöst, die diese Einlagerungsbereiche während des Einlagerungsbetriebes und des Rückbaus beeinflussen. Einbezogen werden in diesem Teilsystem auch EVI, die sich auf eine Rückholbarkeit der radioaktiven Abfälle auswirken können.

Tab. 6.1 Komponenten und Prozesse im Teilsystem „Einlagerungsbereiche“

4	FEP: Einlagerungsbereiche
4.1	Komponenten
4.1.1	Ausbau Querschlag
4.1.2	Ausbau der Einlagerungsstrecken und -kammern
4.1.3	Ausbau der Bohrlochüberfahrungsstrecke
4.1.4	Ausbau der Strecken in Salz (Einlagerungsbereich)
4.1.5	Ausbausystem vertikales Bohrloch
4.1.6	Ausbausystem horizontales Bohrloch
4.1.7	Bohrlocheinbauten und Schlitten
4.1.8 *	Technische Einrichtungen im Einlagerungsbereich
4.1.9	Wirtsgestein (Einlagerungsbereich)
4.1.10	Auflockerungszone (Einlagerungsbereich)
4.1.11	Lösungen (Einlagerungsbereich)
4.1.12	Flüssige Kohlenwasserstoffe (Einlagerungsbereich)
4.1.13	Gase (Einlagerungsbereich)
4.1.14	Versatz (Einlagerungsbereich)
4.1.15	Buffer in Einlagerungsstrecken
4.1.16	Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Einlagerungsbereich)
4.1.17	Bohrlochverschluss
4.1.18	Verschlussbauwerke
4.1.19	Endlagergebinde und Transferbehälter (Einlagerungsbereich)
4.1.20	Fahrzeuge (Einlagerungsbereich)
1.2	Prozesse
4.2.1	Auffahrung von Strecken (Einlagerungsbereich)
4.2.2	Bohren eines EinlagerungsBohrlochs

4.2.3	Ausbau von Strecken (Einlagerungsbereich)
4.2.4	Ausbau eines EinlagerungsBohrlochs
4.2.5 **	Einlagerungsbetrieb
4.2.6	Bewetterung (Einlagerungsbereich)
4.2.7	Metallkorrosion (Einlagerungsbereich)
4.2.8	Zementkorrosion (Einlagerungsbereich)
4.2.9	Spannungsänderung (Einlagerungsbereich)
4.2.10	Konvergenz (Einlagerungsbereich)
4.2.11	Fluidzutritt (Einlagerungsbereich)
4.2.12	Zersetzung von Organika (Einlagerungsbereich)
4.2.13	Einbringen von Buffer und Versatz (Einlagerungsbereich)
4.2.14	Erstellen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Einlagerungsbereich)
4.2.15	Errichten eines Verschlussbauwerkes
4.2.16	Errichten des Verschlusses einer Einlagerungsbohrung
4.2.17	Radioaktiver Zerfall
4.2.18	Radiolyse
4.2.19	Wärmestrom (Einlagerungsbereich)
4.2.20	Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Einlagerungsbereich)
4.2.21	Alteration der Auflockerungszone (Einlagerungsbereich)
4.2.22	Thermische Expansion oder Kontraktion (Einlagerungsbereich)

* Beobachtungssysteme für die Betriebsüberwachung sind Bestandteil der technischen Einrichtungen, das Monitoring für Langzeitentwicklungen wird nicht berücksichtigt.

** Reparatur und Wartung sind Teil des Einlagerungsbetriebs.

Für die Komponenten des Teilsystems „Einlagerungsbereiche“ (ELB) werden die einwirkenden Prozesse bzw. Ereignisse beschrieben und Konsequenzen für die Betriebsphase bewertet.

6.1 Komponente „Ausbau Querschlag"

Der Querschlag im Einlagerungsbereich (ELB) kann als offener Anker- bzw. Stahlnetzverbundausbau oder als geschlossener Betonschalenausbau eingebaut werden.

Er wird in Ton- und Kristallingestein für die Konturstabilisierung und die Gewährleistung der Arbeits- und Betriebssicherheit eingebaut. Im Tongestein müssen diese Grubenbereiche umfassend mit geschlossenem Verbundausbau stabilisiert werden. Im Kristallin kann bei vorteilhaften gebirgsmechanischen Eigenschaften auf den Ausbau verzichtet werden; andernfalls wird mit offenem Ausbau stabilisiert. Im Steinsalz wird nur bei ungünstigen Standortbedingungen, z. B. im Anhydrit, ausgebaut.

Einwirkungen auf nicht ausgebaute Grubenbereiche werden bei den Komponenten „Auflockerungszone“ und „Wirtsgestein“ (Kapitel 6.10 und 6.9) diskutiert.

6.1.1 Einwirkender Prozess: Auffahrung von Strecken (Einlagerungsbereich)

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Streckenauffahrung, einschließlich der Querschläge.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind zeitlich entkoppelt: Der Ausbau der Querschläge erfolgt nach der Auffahrung.

Durch ungünstige Orientierung der Auffahrungen zu den Hauptspannungen im Gebirge können in ausgebauten Querschlägen intensive Spannungsänderungen und Entfestigungen auftreten, siehe Prozess-FEP „Spannungsänderung“ (Kapitel 6.1.9).

6.1.2 Einwirkender Prozess: Bohren eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Betriebsabläufe beim Stoßen von Einlagerungsbohrlöchern.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind völlig entkoppelt: Einlagerungsbohrlöcher werden von den Bohrlochüberfahrungsstrecken gestoßen (Kapitel 6.3), nicht von Querschlägen. Der Ausbau der Querschläge im jeweiligen Einlagerungsfeld erfolgt lange vor dem Stoßen der Bohrlöcher.

6.1.3 Einwirkender Prozess: Ausbau von Strecken (Einlagerungsbereich)

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Streckenausbaus, einschließlich der Querschläge.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Arbeitsabläufe und Auslegung bestimmen die Funktionsfähigkeit des Streckenausbaus. Durch unzureichende Stabilisierung des Gebirges in einem ELB können intensive Spannungsänderungen und Entfestigungen auftreten, siehe Prozess „Spannungsänderung“ (Kapitel 6.1.9). Die Einwirkungen werden bei der Auslegung des Ausbaus berücksichtigt.

Versagen des Ausbaus im Querschlag: Menschliche oder technische Fehler beim Errichten des Ausbaus können zur Funktionseinschränkung des Ausbaus in angrenzenden Auffahrungen führen.

6.1.4 Einwirkender Prozess: Ausbau eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Bohrlochausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind räumlich entkoppelt. Einlagerungsbohrlöcher besitzen einen großen Abstand zu den Querschlägen und besitzen nur einen sehr geringen Aufschlussgrad.

6.1.5 Einwirkender Prozess: Einlagerungsbetrieb

Das FEP beschreibt den bestimmungsgemäßen Betrieb beim Transport und bei der Einlagerung von Endlagergebinden sowie beim Verschluss der Einlagerungsstrecken bzw. -bohrlöcher.

Erschütterungen, Luftfeuchte, Gase usw. während des Betriebes können den Ausbau beeinflussen, siehe u. a. Prozess „Bewetterung“ (Kapitel 6.1.6) und Komponente „Fahrzeuge“ (Kapitel 6.20).

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Beim Einlagerungsbetrieb kann der Ausbau beschädigt werden, z. B. durch Kollision beim Transport, Bewetterung, Alterung etc.

Versagen des Ausbaus im Querschlag: Technische Defekte und menschliche Fehler können den Ausbau beschädigen und die Stabilisierungsfunktion beeinträchtigen.

6.1.6 Einwirkender Prozess: Bewetterung (Einlagerungsbereich)

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Während der Betriebsphase müssen Einlagerungsbereiche bewettert werden. Hierzu sind umfangreiche Einbauten und ggf. zusätzliche Grubenbaue erforderlich.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch die täglich und jahreszeitlich wechselnden Temperaturen der Wetter werden thermomechanische Spannungen im Ausbau ausgelöst (Kapitel 6.1.22). Die Luftfeuchtigkeit bewirkt Korrosion (Kapitel 6.1.7 und 6.1.8) und Alteration (Kapitel 6.1.21). Die Auswirkungen werden bei der Auslegung berücksichtigt und haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.1.7 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion (Einlagerungsbereich)

Das FEP beschreibt die (elektro-)chemische Reaktion von Metallen mit den Stoffen der Umgebung bei Gegenwart von wässrigen Lösungen oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

In den ELB können z. B. die Anker und Stahlnetze des Ausbaus korrodieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Korrosion der Anker und Stahlnetze beschädigt den Ausbau. Die Volumenzunahme der Korrosionsprodukte kann die Integrität von Betonkomponenten beeinträchtigen. Die Einwirkungen werden bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen des Ausbaus im Querschlag: Hohe Korrosionsraten der Metalle können den Ausbau beschädigen und seine Funktion beeinträchtigen.

6.1.8 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion (Einlagerungsbereich)

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen in Grubenbauen durch Kontakt mit wässrigen Lösungen.

In den ELB kann z. B. Betonausbau korrodieren. Durch Änderung der Hydrochemie können die Korrosionsbeständigkeit des Ausbaus beeinflusst werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Korrosion der Betonschalen kann den Ausbau beschädigen. Die Auswirkungen werden bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen des Ausbaus im Querschlag: Hohe Korrosionsraten des Betons können den Ausbau beschädigen und seine Funktion beeinträchtigen.

6.1.9 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (Einlagerungsbereich)

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustandes in Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten sowie durch Änderungen des Fluiddrucks.

Die Einwirkung thermomechanischer Beanspruchung wird beim Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 6.1.22) behandelt.

Spannungsänderungen in technischen Komponenten können aus betrieblichen Lasten (z. B. Auffahrung), chemischen Prozessen (z. B. Quellen von Baustoffen, Gasbildung) oder der Geosphäre (z. B. litho- bzw. hydrostatischer Druck) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der Ausbau ist gegen Spannungsänderungen u. a. durch betriebliche Lasten, Hohlraumkonvergenz im bestimmungsgemäßen Betrieb und das Bemessungserdbeben ausgelegt.

Versagen des Ausbaus im Querschlag: Fehlerhafte Auslegung, Fehlinterpretation der geologischen Bedingungen oder auslegungsüberschreitende Erdbeben können den Ausbau beschädigen und seine Stabilisierungsfunktion beeinträchtigen.

6.1.10 Einwirkender Prozess: Konvergenz (Einlagerungsbereich)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung über Kriechprozesse im Gebirge einsetzt.

Konvergenz verringert das Hohlraum- und Porenvolumen des geschlossenen Ausbaus, erhöht dessen Einspannung und schließt die ALZ.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Konvergenzentwicklung im bestimmungsgemäßen Betrieb ist eine Grundlage der Auslegungen. Nach dem Auflaufen des Gebirges lastet der Gebirgsdruck auf dem Ausbau; die Konvergenzraten bestimmen die Einspannung des Ausbaus und das Schließen der ALZ, wodurch sich wiederum die Spannungsverhältnisse verändern (Kapitel 6.1.9).

Versagen des Ausbaus im Querschlag: Menschliche oder technische Fehler können den Ausbau beschädigen und seine Funktion beeinträchtigen.

6.1.11 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (Einlagerungsbereich)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffen aus dem Wirtsgestein.

Durch die vorlaufende Erkundung sind starke Lösungs- und Gaszutritte im ELB nicht zu unterstellen. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Geringe Lösungs- und Gaszutritte allein haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung in der Betriebsphase. Sollten sich Zündfunken bilden, können geringe Gaszutritte signifikante Einwirkungen verursachen (Kombination von EVI).

Versagen des Ausbaus im Querschlag: Auswaschungen im Beton können die Funktionalität des Ausbaus beeinträchtigen.

6.1.12 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (Einlagerungsbereich)

Das FEP betrifft die Degradation von organischen Bestandteilen der Abfälle, Moderatormaterialien, Asphaltdichtungen der Verschlussbauwerke und Kohlenwasserstoffen im Wirtsgestein.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Der Ausbau enthält keine nennenswerten Mengen organischer Bestandteile. Daher gibt es während der Betriebsphase keine Einwirkungen mit sicherheitstechnischer Bedeutung.

6.1.13 Einwirkender Prozess: Einbringen von Buffer und Versatz (Einlagerungsbereich)

Das Einbringen von Buffer und Versatz erfolgt während des Einlagerungsbetriebes bzw. des Verschlusses der Grubenräume im Rückbau.

Ausbau wird in diesen Grubenbauen nicht entfernt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozesse und Komponente sind zeitlich entkoppelt: Der Versatz wird eingebaut, wenn der Ausbau in den Querschlägen bereits ohne sicherheitstechnische Bedeutung ist. Versatz und Buffer stützen bzw. stabilisieren den Ausbau.

6.1.14 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Einlagerungsbereich)

Das FEP umfasst die Arbeiten beim Stoßen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Nach dem Ausbau der Querschläge werden nur noch eine geringe Anzahl Bohrungen gestoßen. Der Aufschlussgrad dieser Bohrungen in der Kontur ist sehr gering. Die Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.1.15 Einwirkender Prozess: Errichten eines Verschlussbauwerkes (ELB)

Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und der Widerlager eines Verschlussbauwerkes. Im Querschlag (ELB) sind nur im Tongestein Verschlussbauwerke (Migrationssperren) vorgesehen.

Verschlussbauwerke werden zum Abschluss des Abwerfens eines Einlagerungsfeldes eingebaut. Vor dem Errichten eines Verschlussbauwerkes wird geschlossener Ausbau entfernt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Das Rauben des geschlossenen Ausbaus in Tongesteinen bewirkt Spannungen im angrenzenden Gebirge (Kapitel 6.1.9). Diese Auswirkungen sind bei der Komponente „Verschlussbauwerke“ beschrieben (Kapitel 6.18).

6.1.16 Einwirkender Prozess: Errichten des Verschlusses einer Einlagerungsbohrung

Vertikale Einlagerungsbohrlöcher werden durch einen Bohrlochverschluss abgedichtet. Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und der Widerlager.

Der Bohrlochverschluss ist oberhalb des Ausbaus im Bohrloch angeordnet.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind räumlich entkoppelt: Einlagerungsbohrungen setzen nicht in einem Querschlag an.

6.1.17 Einwirkender Prozess: Radioaktiver Zerfall

Das FEP beschreibt Kernumwandlungsprozesse von Radionukliden unter Aussendung von Strahlung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Einwirkungen auf den Ausbau der Querschläge haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.1.18 Einwirkender Prozess: Radiolyse

Unter Radiolyse versteht man die Veränderung chemischer Verbindungen durch die Einwirkung ionisierender Strahlung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Einwirkungen auf den Ausbau der Querschläge haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.1.19 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (Einlagerungsbereich)

Wärme wird von den eingelagerten Endlagergebinden und vom Gebirge abgegeben und in nicht abgeworfenen Teilen des Grubengebäudes über Wetter in die Atmosphäre transportiert. Die Wärmeentwicklung wird bei der Auslegung technischer Bauwerke berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Übertragung von Wärme kann Mineralumbildungen und Volumenänderungen von Feststoffen bewirken und thermomechanische Spannungen im Ausbau hervorrufen, siehe Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 6.1.22).

Versagen des Ausbaus im Querschlag: Überschreitung der Grenztemperatur kann die Stabilisierungsfunktion beeinträchtigen.

6.1.20 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Einlagerungsbereich)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Für den Ausbau der Querschläge werden keine tonhaltigen Baustoffe verwendet.

6.1.21 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (Einlagerungsbereich)

Die Alteration umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen in der ALZ durch Wetter oder zutretende Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Alterationen in der ALZ haben für den Ausbau keine sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.1.22 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (Einlagerungsbereich)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird die Volumenzunahme bzw. Volumenabnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen wird. Aufgrund der wärmeentwickelnden Abfälle ist der Prozess in den Einlagerungsbereichen von besonderer Bedeutung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Thermische Volumenveränderungen beeinflussen Porenraum und Mineralgefüge des Ausbaus und bewirken thermomechanische Spannungen. Dadurch können sich mechanische Eigenschaften, wie die Festigkeit, ändern. Diese Einwirkungen werden bei der Auslegung des Ausbaus berücksichtigt.

Versagen des Ausbaus im Querschlag: Thermomechanische Spannungen können Rissbildungen bewirken, die zu einer Beeinträchtigung der Stabilisierungsfunktion des Ausbaus führen.

6.2 Komponente „Ausbau der Einlagerungsstrecken und -kammern"

Der Ausbau in den Kammern und Strecken eines Einlagerungsbereiches (ELB) kann als offener Anker- bzw. Stahlnetzverbundausbau oder geschlossener Betonschalenausbau eingebaut werden.

Er wird in Ton- und Kristallingesteinen aus Gründen der Betriebssicherheit zur gebirgsmechanischen Stabilisierung eingebracht. Im Steinsalz wird nur bei ungünstigen Standortbedingungen lokal ausgebaut.

Im nachfolgenden Text wird der Begriff Streckenausbau o. ä. verwendet; der Ausbau von Kammern wird in diesem Begriff subsummiert.

6.2.1 Einwirkender Prozess: Auffahrung von Strecken (Einlagerungsbereich)

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Streckenauffahrung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind zeitlich entkoppelt: Der Ausbau in den ELB erfolgt nach der Auffahrung.

Durch eine ungünstige Orientierung der Streckenauffahrungen in einem ELB zu den Hauptspannungen im Gebirge können in ausgebauten Strecken durch tangentiale Spannungen intensive Spannungsumlagerungen und Entfestigungen auftreten, siehe Prozess „Spannungsänderung“ (Kapitel 6.2.9).

6.2.2 Einwirkender Prozess: Bohren eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Betriebsabläufe beim Stoßen von Einlagerungsbohrlöchern.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind räumlich entkoppelt: Einlagerungsbohrlöcher werden von Bohrlochüberfahrungsstrecken gestoßen (Kapitel 6.3). Der Aufschlussgrad dieser

Bohrungen ist sehr gering. Die Auswirkungen auf den Streckenausbau haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.2.3 Einwirkender Prozess: Ausbau von Strecken

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Streckenausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Arbeitsabläufe und Auslegung bestimmen die Funktionsfähigkeit des Streckenausbaus. Durch unzureichende Stabilisierung des Gebirges in einem ELB können intensive Spannungsänderungen und Entfestigungen auftreten, siehe Prozess „Spannungsänderung“ (Kapitel 6.2.9). Die Einwirkungen werden bei der Auslegung des Ausbaus berücksichtigt.

Versagen des Streckenausbaus: Menschliche und technische Fehler beim Errichten des Streckenausbaus können die mechanische Funktion beeinträchtigen.

Ursachen können Fehler bei der Auslegung (z. B. Dimensionierungen, Baustoffe), der Interpretation geologischer Daten (z. B. Gesteinseigenschaften, Gebirgsspannungen), der Spezifikation von Baustoffen (z. B. Fabrikation) oder der technischen Umsetzung sein.

6.2.4 Einwirkender Prozess: Ausbau eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Bohrlochausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind räumlich entkoppelt: Einlagerungsbohrlöcher werden von Bohrlochüberfahrungsstrecken gestoßen (Kapitel 6.3). Der Aufschlussgrad dieser Bohrungen ist sehr gering. Die Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.2.5 Einwirkender Prozess: Einlagerungsbetrieb

Das FEP beschreibt den bestimmungsgemäßen Betrieb beim Transport und bei der Einlagerung von Endlagergebinden sowie beim Verschluss der Einlagerungsstrecken bzw. -bohrlöcher.

Erschütterungen, Luftfeuchte, Gase usw. während des Betriebes können den Ausbau beeinflussen, siehe u. a. den Prozess „Bewetterung“ (Kapitel 6.2.6) und die Komponente „Fahrzeuge“ (Kapitel 6.20).

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Beim Einlagerungsbetrieb kann der Ausbau beschädigt werden, z. B. durch Kollision beim Transport.

Versagen des Streckenausbaus: Technische Defekte können den Ausbau beschädigen und die Stabilisierungsfunktion beeinträchtigen.

6.2.6 Einwirkender Prozess: Bewetterung (Einlagerungsbereich)

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Während der Betriebsphase müssen Einlagerungsbereiche bewettert werden. Hierzu sind umfangreiche Einbauten und ggf. zusätzliche Grubenbaue erforderlich. Aufgrund der hohen Temperaturen in der Nähe der Abfälle spielen Temperaturschwankungen der Wetter in Einlagerungsstrecken und -kammern nur eine untergeordnete Rolle.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch die Temperaturdifferenz zwischen Wetter und Gebirge (mit Wärmeproduktion aus den Abfällen) werden thermomechanische Spannungen im Ausbau verursacht (Kapitel 6.2.22). Die Luftfeuchtigkeit bewirkt Korrosion (Kapitel 6.2.7 und 6.2.8) und Alteration (6.2.20 und 6.2.21). Diese Auswirkungen werden bei der Auslegung des Ausbaus berücksichtigt und haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.2.7 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion (Einlagerungsbereich)

Das FEP beschreibt die (elektro-)chemische Reaktion von Metallen mit den Stoffen der Umgebung bei Gegenwart von wässrigen Lösungen oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

In den ELB können z. B. die Anker und Stahlnetze des Ausbaus korrodieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Korrosion der Anker und Stahlnetze beschädigt den Ausbau. Die Volumenzunahme der Korrosionsprodukte kann die Integrität von Betonkomponenten beeinträchtigen. Die Einwirkungen werden bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen des Streckenausbaus: Hohe Korrosionsraten der Metalle können den Ausbau beschädigen und seine Funktion beeinträchtigen.

6.2.8 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion (Einlagerungsbereich)

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen in Grubenbauen durch Kontakt mit wässrigen Lösungen.

In den ELB kann z. B. der Betonausbau korrodieren. Durch die Änderung der Hydrochemie kann die Korrosionsbeständigkeit des Betons beeinflusst werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Korrosion der Betonschalen zur Streckensicherung kann den Ausbau beschädigen. Die Auswirkungen werden bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen des Streckenausbaus: Hohe Korrosionsraten des Betons können den Streckenausbau beschädigen und seine Funktion beeinträchtigen.

6.2.9 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (ELB)

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustandes in Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten sowie durch Änderungen des Fluiddrucks.

Die Einwirkung thermomechanischer Beanspruchung wird beim Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 6.2.22) behandelt.

Spannungsänderungen in technischen Komponenten können aus betrieblichen Lasten (z. B. Auffahrung), chemischen Prozessen (z. B. Quellen von Baustoffen, Gasbildung) oder der Geosphäre (z. B. litho- bzw. hydrostatischer Druck, Erdbeben) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der Ausbau ist gegen Spannungsänderungen u. a. durch betriebliche Lasten, Hohlraumkonvergenz im bestimmungsgemäßen Betrieb sowie das Bemessungserdbeben ausgelegt.

Versagen des Streckenausbaus: Fehlerhafte Auslegung, Fehlinterpretation der geologischen Bedingungen oder auslegungsüberschreitende Erdbeben können den Ausbau beschädigen und seine Stabilisierungsfunktion beeinträchtigen.

6.2.10 Einwirkender Prozess: Konvergenz (ELB)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im umgebenden Gebirge einsetzt.

Konvergenz verringert das Hohlraum- und Porenvolumen, erhöht die Einspannung des geschlossenen Ausbaus und schließt die ALZ.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Konvergenzentwicklung im bestimmungsgemäßen Betrieb ist eine Grundlage der Auslegungen. Nach dem Auflaufen des Gebirges lastet der Gebirgsdruck auf dem Ausbau. Die Konvergenzraten bestimmen die Einspannung des Ausbaus und das Schließen der ALZ, wodurch sich wiederum die Spannungsverhältnisse verändern (Kapitel 6.2.9).

Versagen des Streckenausbaus: Fehlerhafte Auslegung und Fehlinterpretation der Konvergenzraten können den Ausbau beschädigen und seine Funktion beeinträchtigen.

6.2.11 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (ELB)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffen aus dem Wirtsgestein.

Durch die vorlaufende Erkundung sind starke Lösungs- und Gaszutritte im ELB nicht zu unterstellen. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Geringe Lösungs- und Gaszutritte allein haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung in der Betriebsphase. Sollten sich Zündfunken bilden, können geringe Gaszutritte signifikante Einwirkungen verursachen (Kombination von EVI).

Versagen des Streckenausbaus: Auswaschungen im Beton können die Funktionalität des Ausbaus beeinträchtigen.

6.2.12 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (ELB)

Das FEP betrifft die Degradation von organischen Bestandteilen der Abfälle, Moderatormaterialien, Asphaltdichtungen der Verschlussbauwerke und Kohlenwasserstoffen im Wirtsgestein.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Der Ausbau enthält keine nennenswerten Mengen organischer Bestandteile. Diese Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.2.13 Einwirkender Prozess: Einbringen von Buffer und Versatz (ELB)

Das Einbringen von Buffer und Versatz erfolgt während des Einlagerungsbetriebes bzw. des Verschlusses der Grubenräume im Rückbau.

Der Ausbau wird in diesen Grubenbauen nicht entfernt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozesse und Komponente sind zeitlich entkoppelt: Versatz und Buffer werden eingebaut, wenn der Streckenausbau bereits ohne sicherheitstechnische Bedeutung ist. Versatz und Buffer stützen bzw. stabilisieren den Ausbau.

6.2.14 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (ELB)

Das FEP beschreibt alle Prozesse beim Stoßen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Nach dem Streckenausbau werden nur eine geringe Anzahl Bohrungen gestoßen. In ELB wird die Anzahl der Erkundungsbohrungen minimiert, und der Aufschlussgrad der Bohrungen in der Kontur ist sehr gering. Diese Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.2.15 Einwirkender Prozess: Errichten eines Verschlussbauwerkes (Einlagerungsbereich)

Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und der Widerlager eines Verschlussbauwerkes.

Verschlussbauwerke werden zum Abschluss des Abwerfens eines Einlagerungsfeldes eingebaut. Vor dem Errichten eines Verschlussbauwerkes wird geschlossener Ausbau entfernt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Verschlussbauwerke werden eingebaut, wenn der Ausbau ohne sicherheitstechnische Bedeutung ist. Diese Bauwerke stützen bzw. stabilisieren den geschlossenen Ausbau (in Tongesteinen), sofern dieser nicht vorher entfernt (geraubt) wird.

Das Rauben des geschlossenen Ausbaus in Tongesteinen bewirkt Spannungsänderungen im angrenzenden Gebirgsbereich. Die Auswirkungen sind bei der Komponente „Verschlussbauwerke“ beschrieben (Kapitel 6.18).

6.2.16 Einwirkender Prozess: Errichten des Verschlusses einer Einlagerungsbohrung

Vertikale Einlagerungsbohrlöcher werden durch einen Bohrlochverschluss abgedichtet. Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und der Widerlager.

Der Bohrlochverschluss ist oberhalb des Ausbaus im Bohrloch angeordnet.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Komponente und Prozess sind wegen unterschiedlicher Einlagerungskonzepte räumlich entkoppelt: die Einlagerungsbohrungen werden von Bohrlochüberfahrungsstrecken aus gestoßen.

6.2.17 Einwirkender Prozess: Radioaktiver Zerfall (ELB)

Das FEP beschreibt Kernumwandlungsprozesse von Radionukliden unter Aussendung von Strahlung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Diese Auswirkungen auf den Streckenausbau haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.2.18 Einwirkender Prozess: Radiolyse

Unter Radiolyse versteht man die Veränderung chemischer Verbindungen durch die Einwirkung ionisierender Strahlung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Diese Auswirkungen auf den Streckenausbau haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.2.19 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (ELB)

Wärme wird von den eingelagerten Endlagergebinden und vom Gebirge, abgegeben und in nicht abgeworfenen Teilen des Grubengebäudes über die Wetter in die Atmosphäre transportiert. Die Wärmeentwicklung wird bei der Auslegung technischer Bauwerke berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Übertragung von Wärme kann Mineralumbildungen und Volumenänderungen von Feststoffen bewirken und thermomechanische Spannungen im Ausbau hervorrufen, siehe Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 6.2.22). Diese Auswirkungen haben bei Einhaltung der Auslegungstemperatur keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

Versagen des Streckenausbaus: Überschreitungen der Auslegungstemperatur können die Stabilisierungsfunktion beeinträchtigen.

6.2.20 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (ELB)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Für diesen Streckenausbau werden keine tonhaltigen Baustoffe verwendet.

6.2.21 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (ELB)

Die Alteration umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen in der ALZ durch Wetter oder zutretende Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Alterationen in der ALZ haben für den Ausbau keine sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.2.22 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (ELB)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird die Volumenzunahme bzw. Volumenabnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen wird. Aufgrund der wärmeentwickelnden Abfälle ist der Prozess in Einlagerungsbereichen von besonderer Bedeutung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Thermische Volumenveränderungen beeinflussen Porenraum und Mineralgefüge des Ausbaus und bewirken thermomechanische Spannungen. Dadurch können sich mechanische Eigenschaften, wie die Festigkeit, ändern. Diese Einwirkungen werden bei der Auslegung des Ausbaus berücksichtigt.

Versagen des Streckenausbaus: Thermomechanische Spannungen bewirken Rissbildung, die die Stabilisierungsfunktion des Ausbaus beeinträchtigen kann.

6.3 Komponente „Ausbau der Bohrlochüberfahrungsstrecken"

Der Ausbau in den Bohrlochüberfahrungsstrecken eines ELB kann als offener Anker- bzw. Stahlnetzverbundausbau oder als geschlossener Betonschalenausbau eingebaut werden.

Er wird in Ton und Kristallin aus Gründen der Betriebssicherheit zur Stabilisierung der Strecken eingebracht. Im Steinsalz wird nur bei ungünstigen Standortbedingungen lokal ausgebaut.

6.3.1 Einwirkender Prozess: Auffahrung von Strecken (ELB)

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Streckenauffahrung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind zeitlich entkoppelt: Der Ausbau der Bohrlochüberfahrungsstrecken erfolgt nach der Auffahrung.

Durch eine ungünstige Orientierung der Streckenauffahrungen in einem ELB zu den Hauptspannungen im Gebirge können in ausgebauten Strecken durch tangentiale Spannungen intensive Spannungsumlagerungen und Entfestigungen auftreten, siehe Prozess „Spannungsänderung“ (Kapitel 6.3.9).

6.3.2 Einwirkender Prozess: Bohren eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Betriebsabläufe beim Stoßen von Einlagerungsbohrlöchern.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Einlagerungsbohrlöcher werden von diesen Bohrlochüberfahrungsstrecken gestoßen. Der Aufschlussgrad der Bohrungen ist gering, derjenige der Bohrlochkeller erreicht relevante Ausmaße. Der Abstand der Bohrlochpositionen wird entsprechend den technischen Anforderungen für die Bohrlochkeller und Einlagerungsmaschine gewählt und ist Teil der Auslegung. Der Ausbruch für die Bohrlochkeller ist so gering wie möglich und Teil der Auslegung.

Versagen des Streckenausbaus: Menschliche und technische Fehler beim Errichten des Bohrlochs bzw. Bohrlochkellers können die mechanische Funktion beeinträchtigen.

6.3.3 Einwirkender Prozess: Ausbau von Strecken (Einlagerungsbereich)

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Streckenausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Arbeitsabläufe und Auslegung bestimmen die Funktionsfähigkeit des Streckenausbaus. Durch unzureichende Stabilisierung des Gebirges in einem ELB können intensive Spannungsänderungen und Entfestigungen auftreten, siehe Prozess „Spannungsänderung“ (Kapitel 6.3.9). Die Einwirkungen werden bei der Auslegung des Ausbaus berücksichtigt.

Versagen des Streckenausbaus: Menschliche und technische Fehler beim Errichten des Streckenausbaus können die mechanische Funktion beeinträchtigen.

6.3.4 Einwirkender Prozess: Ausbau eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Bohrlochausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Einlagerungsbohrlöcher und die Bohrlochkeller werden von Bohrlochüberfahrungsstrecken aus eingerichtet. Der Ausbruch für die Bohrlochkeller erfolgt so gering wie möglich und ist Teil der Auslegung; demzufolge ist nur ein begrenzter Grubenraum für das Einbringen der Ausbaukomponenten, wie die Stahlliner, verfügbar.

Versagen des Streckenausbaus: Beim Einbau von Ausbaukomponenten kann der Streckenausbau beschädigt und seine Stabilisierungsfunktion beeinträchtigt werden.

6.3.5 Einwirkender Prozess: Einlagerungsbetrieb

Das FEP beschreibt den bestimmungsgemäßen Betrieb beim Transport und bei der Einlagerung von Endlagergebinden sowie beim Verschluss der Einlagerungsstrecken bzw. -bohrlöcher.

Erschütterungen, Luftfeuchte, Gase usw. während des Betriebes können den Ausbau beeinflussen, siehe u. a. Prozess „Bewetterung“ (Kapitel 6.3.6) und Komponente „Fahrzeuge“ (Kapitel 6.20).

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Beim Einlagerungsbetrieb kann der Ausbau beschädigt werden, z. B. durch Kollision beim Transport, Bewetterung, Alterung etc. Der bestimmungsgemäße Betrieb wird bei der Auslegung des Ausbaus berücksichtigt.

Versagen des Streckenausbaus: Technische Defekte und menschliche Fehler können den Ausbau beschädigen und die Stabilisierungsfunktion beeinträchtigen.

6.3.6 Einwirkender Prozess: Bewetterung (Einlagerungsbereich)

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Während der Betriebsphase müssen Einlagerungsstrecken bewettert werden. Hierzu sind umfangreiche Einbauten und ggf. zusätzliche Grubenbaue erforderlich. Aufgrund der hohen Temperaturen in der Nähe der Abfälle spielen Temperaturschwankungen der Wetter in den Bohrlochüberfahrungsstrecken nur eine untergeordnete Rolle.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Durch die Temperaturdifferenz zwischen Wetter und Gebirge (mit Wärmeproduktion aus den Abfällen) werden thermomechanische Spannungen im Ausbau verursacht (Kapitel 6.3.22). Die Luftfeuchtigkeit bewirkt Korrosion (Kapitel 6.3.7 und 6.3.8) und Alteration (6.3.20 und 6.3.21). Die Auswirkungen werden bei der Auslegung des Ausbaus berücksichtigt und haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.3.7 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion (Einlagerungsbereich)

Das FEP beschreibt die (elektro-)chemische Reaktion von Metallen mit den Stoffen der Umgebung bei Gegenwart von wässrigen Lösungen oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

In den ELB können z. B. die Anker und Stahlnetze des Ausbaus korrodieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Korrosion der Anker und Stahlnetze beschädigt den Ausbau. Die Volumenzunahme der Korrosionsprodukte kann die Integrität von Betonkomponenten beeinträchtigen. Die Einwirkungen werden bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen des Streckenausbaus: Hohe Korrosionsraten der Metalle können den Ausbau beschädigen und seine Funktion beeinträchtigen.

6.3.8 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion (Einlagerungsbereich)

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen in Grubenbauen durch Kontakt mit wässrigen Lösungen.

In ELB kann z. B. der Betonausbau korrodieren. Durch die Änderung der Hydrochemie kann die Korrosionsbeständigkeit des Betons beeinflusst werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Korrosion der Betonschalen zur Streckensicherung kann den Ausbau beschädigen. Die Auswirkungen werden bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen des Streckenausbaus: Hohe Korrosionsraten des Betons können den Streckenausbau beschädigen und seine Funktion beeinträchtigen.

6.3.9 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (Einlagerungsbereich)

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustandes in Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten sowie durch Änderungen des Fluiddrucks.

Die Einwirkung thermomechanischer Beanspruchung wird beim Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 6.3.22) behandelt.

Spannungsänderungen in technischen Komponenten können aus betrieblichen Lasten (z. B. Auffahrung), chemischen Prozessen (z. B. Quellen von Baustoffen, Gasbildung) oder der Geosphäre (z. B. litho- bzw. hydrostatischer Druck) resultieren. Die Intensität der Konvergenz wird durch Spannungsverhältnisse im Gebirge bestimmt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der Ausbau ist gegen Spannungsänderungen u. a. durch betriebliche Lasten, Hohlraumkonvergenz im bestimmungsgemäßen Betrieb sowie das Bemessungserdbeben ausgelegt.

Versagen des Streckenausbaus: Fehlerhafte Auslegung, Fehlinterpretation der geologischen Bedingungen oder auslegungsüberschreitende Erdbeben können den Ausbau beschädigen und seine Stabilisierungsfunktion beeinträchtigen.

6.3.10 Einwirkender Prozess: Konvergenz (Einlagerungsbereich)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im umgebenden Gebirge einsetzt.

Konvergenz verringert das Hohlraum- und Porenvolumen des geschlossenen Ausbaus, erhöht dessen Einspannung und schließt die ALZ.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Konvergenzentwicklung im bestimmungsgemäßen Betrieb ist eine Grundlage der Auslegungen. Nach dem Auflaufen des Gebirges lastet der Gebirgsdruck auf dem Ausbau; die Konvergenzraten bestimmen die Einspannung des Ausbaus und das Schließen der ALZ, wodurch sich wiederum die Spannungsverhältnisse verändern (Kapitel 6.3.9).

Versagen des Streckenausbaus: Fehlerhafte Auslegung und Fehlinterpretation der Konvergenzraten können den Ausbau beschädigen und seine Funktion beeinträchtigen.

6.3.11 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (Einlagerungsbereich)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffen aus dem Wirtsgestein.

Durch die vorlaufende Erkundung sind starke Lösungs- und Gaszutritte im ELB nicht zu unterstellen. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Geringe Lösungs- und Gaszutritte allein haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung in der Betriebsphase. Sollten sich Zündfunken bilden, können geringe Gaszutritte signifikante Einwirkungen verursachen (Kombination von EVI).

Versagen des Streckenausbaus: Auswaschungen im Beton können die Funktionalität des Ausbaus beeinträchtigen.

6.3.12 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (Einlagerungsbereich)

Das FEP betrifft die Degradation von organischen Bestandteilen der Abfälle, Moderatormaterialien, Asphaltdichtungen der Verschlussbauwerke und Kohlenwasserstoffen im Wirtsgestein.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Das Ausbausystem enthält keine nennenswerten Mengen organischer Bestandteile. Die Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.3.13 Einwirkender Prozess: Einbringen von Buffer und Versatz (Einlagerungsbereich)

Das Einbringen von Buffer und Versatz erfolgt erst während des Einlagerungsbetriebs bzw. während des Verschlusses der Grubenräume im Rückbau.

Der Ausbau wird in diesen Grubenbauen nicht entfernt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozesse und Komponente sind zeitlich entkoppelt: Versatz und Buffer werden eingebaut, wenn der Streckenausbau bereits ohne sicherheitstechnische Bedeutung ist. Versatz und Buffer stützen bzw. stabilisieren den Ausbau.

6.3.14 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Einlagerungsbereich)

Das FEP beschreibt alle Prozesse beim Stoßen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Nach dem Streckenausbau werden nur eine geringe Anzahl Bohrungen gestoßen. In ELB wird die Anzahl der Erkundungsbohrungen minimiert und der Aufschlussgrad der Bohrungen in der Kontur ist sehr gering. Diese Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.3.15 Einwirkender Prozess: Errichten eines Verschlussbauwerkes (Einlagerungsbereich)

Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und der Widerlager eines Verschlussbauwerkes.

Verschlussbauwerke werden zum Abschluss des Abwerfens eines Einlagerungsfeldes eingebaut. Vor dem Errichten eines Verschlussbauwerkes wird geschlossener Ausbau entfernt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Verschlussbauwerke werden eingebaut, wenn der Ausbau ohne sicherheitstechnische Bedeutung ist. Diese Bauwerke stützen bzw. stabilisieren den geschlossenen Ausbau (in Tongesteinen), sofern dieser nicht vorher entfernt (geraubt) wird.

Das Rauben des geschlossenen Ausbaus in Tongesteinen bewirkt Spannungsänderungen im angrenzenden Gebirgsbereich. Die Auswirkungen sind bei der Komponente „Verschlussbauwerke“ beschrieben (Kapitel 6.18).

6.3.16 Einwirkender Prozess: Errichten des Verschlusses einer Einlagerungsbohrung

Vertikale Einlagerungsbohrlöcher werden durch einen Bohrlochverschluss abgedichtet. Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und Widerlager eines Bohrlochverschlusses.

Der Bohrlochverschluss ist oberhalb des Ausbaus im Bohrloch angeordnet.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Bohrungen werden nach dem Streckenausbau gestoßen und ausgebaut. Der Aufschlussgrad der Bohrungen im Ausbau ist sehr gering und die Bohrlochverschlüsse stabilisieren den Ausbau. Die Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.3.17 Einwirkender Prozess: Radioaktiver Zerfall

Das FEP beschreibt Kernumwandlungsprozesse von Radionukliden unter Aussendung von Strahlung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Diese Auswirkungen auf den Streckenausbau haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.3.18 Einwirkender Prozess: Radiolyse

Unter Radiolyse versteht man die Veränderung chemischer Verbindungen durch die Einwirkung ionisierender Strahlung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Diese Auswirkungen auf den Streckenausbau haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.3.19 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (Einlagerungsbereich)

Wärme wird von den eingelagerten Endlagergebinden und vom Gebirge abgegeben und in nicht abgeworfenen Teilen des Grubengebäudes über die Wetter in die Atmosphäre transportiert. Die Wärmeentwicklung wird bei der Auslegung technischer Bauwerke berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Übertragung von Wärme kann Mineralumbildungen und Volumenänderungen von Feststoffen bewirken und thermomechanische Spannungen im Ausbau hervorrufen,, siehe Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 6.3.22). Die Auswirkungen haben bei Einhaltung der Auslegungstemperatur keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

Versagen des Streckenausbaus: Überschreitung der Auslegungstemperatur kann die Stabilisierungsfunktion des Ausbaus beeinträchtigen.

6.3.20 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Einlagerungsbereich)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Für diesen Streckenausbau werden keine tonhaltigen Baustoffe verwendet.

6.3.21 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (Einlagerungsbereich)

Die Alteration umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen der ALZ durch den Wetterstrom oder zutretende Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Alterationen in der ALZ haben für den Ausbau keine sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.3.22 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (Einlagerungsbereich)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird die Volumenzunahme bzw. Volumenabnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen wird. Aufgrund der wärmeentwickelnden Abfälle ist der Prozess in den Einlagerungsbereichen von besonderer Bedeutung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Thermische Volumenveränderungen beeinflussen Porenraum und Mineralgefüge des Ausbaus. Dadurch können sich mechanische Eigenschaften, wie die Festigkeit, ändern. Diese Einwirkungen werden bei der Auslegung des Ausbaus berücksichtigt.

Versagen des Streckenausbaus: Thermomechanische Spannungen bewirken Rissbildungen, die die Stabilisierungsfunktion des Ausbaus beeinträchtigen.

6.4 Komponente: „Ausbau der Strecken in Salz (Einlagerungsbereich)"

In den Strecken der Einlagerungsbereiche im Steinsalz können mechanisch besonders belastete Abschnitte durch Anker- bzw. Stahlnetzverbundausbau stabilisiert werden.

6.4.1 Einwirkender Prozess: Auffahrung von Strecken (Einlagerungsbereich)

Der Ausbau wird erst nach der Auffahrung der Strecken errichtet.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind zeitlich entkoppelt: Der Ausbau der Bohrlochüberfahrungsstrecken erfolgt nach der Auffahrung.

6.4.2 Einwirkender Prozess: Bohren eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Betriebsabläufe beim Bohren von Einlagerungsbohrlöchern.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Einlagerungsbohrlöcher werden von Bohrlochüberfahrungsstrecken gestoßen und können nur dort den Ausbau beschädigen (Kapitel 6.3).

6.4.3 Einwirkender Prozess: Ausbau von Strecken (Einlagerungsbereich)

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Streckenausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Arbeitsabläufe und Auslegung bestimmen die Funktionsfähigkeit des Streckenausbaus. Durch unzureichende Stabilisierung des Gebirges in einem ELB können intensive Spannungsänderungen und Entfestigungen auftreten, siehe Prozess „Spannungsänderung“ (Kapitel 6.4.9). Die Einwirkungen werden bei der Auslegung des Ausbaus berücksichtigt.

Versagen des Streckenausbaus: Menschliche und technische Fehler bei der Errichtung des Streckenausbaus können die mechanische Funktion beeinträchtigen.

Ursachen können Fehler bei der Auslegung (z. B. Dimensionierungen, Baustoffe), der Interpretation geologischer Daten (z. B. Gesteinseigenschaften, Gebirgsspannungen), der Spezifikation von Baustoffen (z. B. Fabrikation) oder der technischen Umsetzung sein.

6.4.4 Einwirkender Prozess: Ausbau eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Bohrlochausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind räumlich entkoppelt: der Ausbau ist in der Firste, das Bohrloch in der Sohle.

6.4.5 Einwirkender Prozess: Einlagerungsbetrieb

Das FEP beschreibt den bestimmungsgemäßen Betrieb beim Transport und bei der Einlagerung von Endlagergebinden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Der Einlagerungsbetrieb findet in den Bohrlochüberfahrungsstrecken statt und kann nur dort den Ausbau beschädigen (Kapitel 6.3).

6.4.6 Einwirkender Prozess: Bewetterung (Einlagerungsbereich)

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit). Während der Betriebsphase müssen die Strecken bewettert werden.

Aufgrund der hohen Temperaturentwicklung durch die wärmeentwickelnden Abfälle spielen Temperaturschwankungen durch Bewetterung in den Strecken nur eine untergeordnete Rolle.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch Abkühlung in Folge der Bewetterung und hohe Gebirgstemperaturen durch die Wärmeproduktion aus den Abfällen, kommt es zu thermomechanischen Spannungen an der Grubenkontur, siehe Prozess-FEP „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 6.4.22).

6.4.7 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion (Einlagerungsbereich)

Das FEP beschreibt die (elektro-)chemische Reaktion von Metallen mit den Stoffen der Umgebung bei Gegenwart von wässrigen Lösungen oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

In den ELB können z. B. die Anker und Stahlnetze des Ausbaus und die Endlagerbehälter korrodieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Versagen des Streckenausbaus: Metalle des Verbundausbaus können korrodieren und die Funktion beeinträchtigen.

6.4.8 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion (Einlagerungsbereich)

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen in Grubenbauen durch Kontakt mit wässrigen Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

In den Strecken in Salz ist kein Betonausbau vorgesehen.

6.4.9 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (Einlagerungsbereich)

Das FEP beschreibt eine Erhöhung oder Erniedrigung des Beanspruchungszustandes in einem Tragwerksbereich des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten sowie Änderungen des Fluiddrucks in Lösungen und Gasen.

Die Einwirkung thermomechanischer Beanspruchungen wird bei dem Prozess-FEP „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 6.4.22) behandelt.

Die Spannungsänderungen im Wirtsgestein oder in technischen Komponenten können aus betrieblichen Lasten, z. B. Auffahrung von Grubenräumen, resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der Ausbau ist gegen Spannungsänderungen durch betriebliche Lasten und das Bemessungserdbeben ausgelegt.

Versagen des Streckenausbaus: Menschliche und technische Fehler können zum mechanischen Versagen des Ausbaus führen.

6.4.10 Einwirkender Prozess: Konvergenz (Einlagerungsbereich)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im umgebenden Gebirge einsetzt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der Anker-/Stahlnetz-Verbundausbau bremst die Streckenkonvergenz.

Versagen des Streckenausbaus: Fehlerhafte Auslegung und Fehlinterpretation der Konvergenzraten können den Ausbau beschädigen und seine Funktion beeinträchtigen.

6.4.11 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (Einlagerungsbereich)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffen aus dem Wirtsgestein.

Durch die vorlaufende Erkundung sind starke Lösungs- und Gaszutritte im ELB nicht zu unterstellen. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Geringe Lösungs- und Gaszutritte allein haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung in der Betriebsphase. Sollten sich Zündfunken bilden, können geringe Gaszutritte signifikante Einwirkungen verursachen (Kombination von EVI).

6.4.12 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (Einlagerungsbereich)

Das FEP betrifft die Degradation von organischen Bestandteilen der Abfälle, Moderatormaterialien, Asphaltdichtungen der Verschlussbauwerke und Kohlenwasserstoffen im Wirtsgestein.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Der Ausbau enthält keine nennenswerten Mengen organischer Bestandteile. Diese Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.4.13 Einwirkender Prozess: Einbringen von Buffer und Versatz (Einlagerungsbereich)

Das Einbringen von Buffer und Versatz erfolgt während des Einlagerungsbetriebes bzw. während des Verschließens der Grubenräume im Rückbau.

Der Ausbau wird in diesen Strecken nicht entfernt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozesse und Komponente sind zeitlich entkoppelt: Versatz und Buffer werden eingebaut, wenn der Streckenausbau bereits ohne sicherheitstechnische Bedeutung ist.

6.4.14 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Einlagerungsbereich)

Das FEP beschreibt alle Prozesse beim Stoßen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Nach dem Streckenausbau werden nur eine geringe Anzahl Bohrungen gestoßen. In ELB wird die Anzahl der Erkundungsbohrungen minimiert, und der Aufschlussgrad der Bohrungen in der Kontur ist sehr gering. Diese Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.4.15 Einwirkender Prozess: Errichten eines Verschlussbauwerkes (Einlagerungsbereich)

Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und der Widerlager eines Verschlussbauwerkes.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Im Steinsalz sind keine Verschlussbauwerke in Einlagerungsbereichen vorgesehen.

6.4.16 Einwirkender Prozess: Errichten des Verschlusses einer Einlagerungsbohrung

Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und Widerlager eines Bohrlochverschlusses.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Im Steinsalz sind keine Bohrlochverschlüsse in Einlagerungsbereichen vorgesehen.

6.4.17 Einwirkender Prozess: Radioaktiver Zerfall

Das FEP beschreibt Kernumwandlungsprozesse von Radionukliden unter Aussendung von Strahlung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Diese Auswirkungen auf den Streckenausbau haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.4.18 Einwirkender Prozess: Radiolyse

Unter Radiolyse versteht man die Veränderung chemischer Verbindungen durch die Einwirkung ionisierender Strahlung. Im Einlagerungsbereich kann die Radiolyse von Wasser zur Gasbildung führen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Diese Auswirkungen auf den Streckenausbau haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.4.19 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (Einlagerungsbereich)

Wärme wird von den eingelagerten Endlagergebinden und vom Gebirge abgegeben und in nicht abgeworfenen Teilen des Grubengebäudes über Wetter in die Atmosphäre transportiert. Die Wärmeentwicklung wird bei der Auslegung technischer Bauwerke berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Es werden keine relevanten Einwirkungen auf den Verbundausbau erwartet.

6.4.20 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Einlagerungsbereich)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Für den Streckenausbau im Steinsalz werden keine tonhaltigen Baustoffe verwendet.

6.4.21 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (Einlagerungsbereich)

Die Alteration umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen in der ALZ durch Wetter oder zutretende Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Alterationen in der ALZ haben für den Verbundausbau in Steinsalz keine sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.4.22 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (Einlagerungsbereich)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird die Volumenzunahme bzw. Volumenabnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen wird. Aufgrund der wärmeentwickelnden Abfälle ist der Prozess in Einlagerungsbereichen von besonderer Bedeutung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Volumenänderungen haben für den Verbundausbau in Steinsalz keine sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.5 Komponente „Ausbausystem vertikales Bohrloch"

Das Ausbausystem umfasst die Komponenten in den vertikalen Einlagerungsbohrungen unter den Bohrlochüberfahrungsstrecken. Hierzu gehören Stahlliner (BLT, VBLS, MewG), Verfüllungen mit Sand (BLT, VBLS, MewG), Widerlager aus Hartgestein (KBS3) und Buffer aus Bentonit (BLT, KBS-3). Widerlager aus Beton (BLT, MewG) sind in Kombination mit einem Bentonitdichtelement der Komponente „Bohrlochverschluss“ (6.17) zugeordnet.

Die Ausbausysteme betreffen Endlagerkonzepte in Steinsalz, Ton und Kristallin. Die Ausbausysteme dienen der Konturstabilisierung der Bohrlöcher, der Lagestabilisierung

der Gebinde, der Gewährleistung der Rückholbarkeit, der Verzögerung bzw. Verhinderung von Lösungszuflüssen und ggf. der Rückhaltung von Schadstoffen.

6.5.1 Einwirkender Prozess: Auffahrung von Strecken (Einlagerungsbereich)

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Streckenauffahrung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind zeitlich entkoppelt: Der Ausbau der Einlagerungsbohrungen erfolgt erst nach der Auffahrung von Strecken.

6.5.2 Einwirkender Prozess: Bohren eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Betriebsabläufe beim Stoßen von Einlagerungsbohrlöchern.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Das Einlagerungsbohrloch ist Voraussetzung zur Erstellung des Ausbausystems. Das Stoßen und die Dimensionierung des Bohrlochs ist Teil der Auslegung.

Versagen des Ausbausystems vertikales Bohrloch: Menschliche und technische Fehler bei den Bohrarbeiten können den Einbau und somit die Funktionen des Ausbausystems beeinträchtigen.

6.5.3 Einwirkender Prozess: Ausbau von Strecken (Einlagerungsbereich)

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Streckenausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Der Streckenausbau in der Bohrlochüberfahrungsstrecke beeinflusst die Spannungen in der Kontur des Bohrlochausbaus (Kapitel 6.5.9). Diese Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.5.4 Einwirkender Prozess: Ausbau eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Bohrlochausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Einlagerungsbohrlöcher werden von Bohrlochüberfahrungsstrecken aus eingerichtet. Der Grubenraum für das Einbringen der Ausbaukomponenten, wie die Stahlliner, ist eng begrenzt.

Versagen des Ausbausystems vertikales Bohrloch: Technische und menschliche Fehler beim Einbau können das Ausbausystem beschädigen und seine Funktionen beeinträchtigen.

6.5.5 Einwirkender Prozess: Einlagerungsbetrieb

Das FEP beschreibt den bestimmungsgemäßen Betrieb beim Transport und bei der Einlagerung von Endlagergebinden sowie beim Verschluss der Einlagerungsstrecken bzw. -bohrlöcher.

Erschütterungen, Luftfeuchte, Gase usw. während des Betriebes können den Ausbau beeinflussen, siehe u. a. Prozess „Bewetterung“ (Kapitel 6.5.6) und Komponente „Fahrzeuge“ (Kapitel 6.20).

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Beim Einlagerungsbetrieb kann das Ausbausystem beschädigt werden, z. B. durch Kokillensticking oder Kokillenabsturz. Der bestimmungsgemäße Betrieb wird bei der Auslegung des Ausbaus berücksichtigt.

Versagen des Ausbausystems vertikales Bohrloch: Technische Defekte und Materialfehler bei der Einlagerung können das Ausbausystem beschädigen und seine Funktionen beeinträchtigen.

6.5.6 Einwirkender Prozess: Bewetterung (Einlagerungsbereich)

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Einlagerungsbohrlöcher werden nicht bewettert. Die Auswirkungen der Wetter haben keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.5.7 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion (Einlagerungsbereich)

Das FEP beschreibt die (elektro-)chemische Reaktion von Metallen mit den Stoffen der Umgebung bei Gegenwart von wässrigen Lösungen oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

In den Einlagerungsbohrlöchern können z. B. die Stahlliner korrodieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Korrosion der Stahlliner beschädigt das Ausbaussystem. Die Volumenzunahme der Korrosionsprodukte kann die Integrität des Buffers beeinträchtigen. Die Einwirkungen werden bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen des Ausbausystems vertikales Bohrloch: Hohe Korrosionsraten der Stahlliner können das Ausbausystem beschädigen und seine Funktionen beeinträchtigen.

6.5.8 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion (Einlagerungsbereich)

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen in Grubenbauen durch Kontakt mit wässrigen Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Das Ausbausystem enthält keine Betonkomponenten.

6.5.9 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (Einlagerungsbereich)

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustandes in Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten sowie durch Änderung des Fluiddrucks.

Die Einwirkung thermomechanischer Beanspruchungen wird beim Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 6.5.22) behandelt.

Spannungsänderungen in technischen Komponenten können aus betrieblichen Lasten (z. B. Auffahrung), chemischen Prozessen (z. B. Quellen von Baustoffen, Gasbildung) oder der Geosphäre (z. B. litho- bzw. hydrostatischer Druck) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der Ausbau ist gegen Spannungsänderungen u. a. durch betriebliche Lasten, Hohlraumkonvergenz im bestimmungsgemäßen Betrieb sowie das Bemessungserdbeben ausgelegt.

Versagen des Ausbausystems vertikales Bohrloch: Fehlerhafte Auslegungen und Interpretationen der geologischen Bedingungen oder auslegungsüberschreitende Erdbeben können den Ausbau beschädigen und seine Funktionen beeinträchtigen.

6.5.10 Einwirkender Prozess: Konvergenz (Einlagerungsbereich)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im umgebenden Gebirge einsetzt.

Konvergenz verringert das Hohlraum- und Porenvolumen des Ausbaus, erhöht dessen Einspannung und schließt die ALZ.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Konvergenzentwicklung im bestimmungsgemäßen Betrieb ist eine Grundlage der Auslegungen. Nach dem Auflaufen des Gebirges lastet der Gebirgsdruck auf dem Ausbau; die Konvergenzraten bestimmen die Einspannung des Ausbaus und das Schließen der ALZ, wodurch sich die Spannungsverhältnisse verändern (Kapitel 6.5.9).

Versagen des Ausbausystems vertikales Bohrloch: Fehlerhafte Auslegung und Fehlinterpretation der Konvergenzraten können den Ausbau beschädigen und seine Funktion beeinträchtigen.

6.5.11 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (Einlagerungsbereich)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffen aus dem Wirtsgestein.

Durch die vorlaufende Erkundung sind starke Lösungs- und Gaszutritte im ELB nicht zu unterstellen. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Geringe Lösungs- und Gaszutritte in vertikale Einlagerungsbohrlöcher haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung in der Betriebsphase.

6.5.12 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (Einlagerungsbereich)

Das FEP betrifft die Degradation von organischen Bestandteilen der Abfälle, Moderatormaterialien, Asphaltdichtungen der Verschlussbauwerke und Kohlenwasserstoffen im Wirtsgestein.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Bentonite in den Konzepten BLT, KBS-3 (Ton- und Kristallingestein) enthalten geringe Mengen organischen Materials. Die Gesamtmenge organischer Bestandteile in einem Bohrloch ist sehr gering. Auswirkungen auf den Ausbau haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

Durch die Zersetzung von Organika werden u. a. Gase gebildet, das u. U. in einem Bohrloch gefangen wird. Auswirkungen sind bei der Komponente „Gase (ELB)“ beschrieben (Kapitel 6.13).

6.5.13 Einwirkender Prozess: Einbringen von Buffer und Versatz (Einlagerungsbereich)

Das Einbringen von Buffer und Versatz erfolgt während des Einlagerungsbetriebes bzw. des Verschlusses der Grubenräume im Rückbau.

Der Ausbau wird in diesen Bohrungen nicht entfernt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Bei den Konzepten BLT, VBLS und MewG wird in vertikale Einlagerungsbohrungen Sand eingebaut, bei dem Konzepten KBS3 Hartgestein. Der Versatz unterstützt u. a. die Lagestabilität der Gebinde. Bei den Konzepten BLT und KBS3 werden außerdem Buffer aus Bentonit eingebaut, die ebenfalls stabilisierende und stützende Funktionen ausüben (siehe auch Kapitel 6.15.20). Versatz und Buffer sind Teil der Auslegung des Ausbausystems.

Versagen des Ausbausystems vertikales Bohrloch: Unzureichender Versatzdruck kann die Stabilisierungsfunktion des Ausbausystems beeinträchtigen.

6.5.14 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Einlagerungsbereich)

Das FEP beschreibt alle Prozesse beim Stoßen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Eine Erkundungsbohrung stellt hier die Vorbohrung für eine Einlagerungsbohrung dar. Bei positivem Befund wird die Erkundungsbohrung überbohrt. Bei negativem Befund wird die Erkundungsbohrung nicht weiter verwendet und sofort verfüllt und abgedichtet. Auswirkungen sind bei den Komponenten „Wirtsgestein (ELB)“ und „Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (ELB)“ beschrieben (Kapitel 6.9 und 6.16).

6.5.15 Einwirkender Prozess: Errichten eines Verschlussbauwerkes (Einlagerungsbereich)

Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und der Widerlager eines Verschlussbauwerkes.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind räumlich getrennt: Die Einlagerungsbohrlöcher werden nicht in Einbauorten der Verschlussbauwerke gestoßen.

6.5.16 Einwirkender Prozess: Errichten des Verschlusses einer Einlagerungsbohrung

Vertikale Einlagerungsbohrlöcher werden durch einen Bohrlochverschluss abgedichtet. Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und Widerlager eines Bohrlochverschlusses.

Der Bohrlochverschluss ist oberhalb des Ausbausystems im Bohrloch angeordnet.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Der Bohrlochverschluss stabilisiert den Buffer im Ausbausystem, hat aber keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.5.17 Einwirkender Prozess: Radioaktiver Zerfall

Das FEP beschreibt Kernumwandlungsprozesse von Radionukliden unter Aussendung von Strahlung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Diese Auswirkungen auf das Ausbausystem haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.5.18 Einwirkender Prozess: Radiolyse

Unter Radiolyse versteht man die Veränderung chemischer Verbindungen durch die Einwirkung ionisierender Strahlung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Diese Auswirkungen auf das Ausbausystem haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.5.19 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (Einlagerungsbereich)

Wärme wird von den eingelagerten Endlagergebinden und vom Gebirge abgegeben und in nicht abgeworfenen Teilen des Grubengebäudes über die Wetter in die Atmosphäre transportiert. Die Wärmeentwicklung wird bei der Auslegung technischer Bauwerke berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Übertragung von Wärme kann Mineralumbildungen und Volumenänderungen von Feststoffen bewirken und thermomechanische Spannungen im Ausbau hervorrufen, siehe Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 6.5.22). Die Auswirkungen haben bei Einhaltung der Auslegungstemperatur keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

Versagen des Ausbausystems vertikales Bohrloch: Überschreitung der Auslegungstemperatur kann die Funktionen des Ausbausystems beeinträchtigen.

6.5.20 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Einlagerungsbereich)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet. Im eingespannten Zustand führt es zunächst zur Quelldruckänderung, während im freien Zustand eine Volumenänderung resultiert.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Bei den Konzepten BLT und KBS-3 werden in die vertikalen Einlagerungsbohrungen Buffer aus Bentonit eingebaut. Der Quelldruck der Buffer unterstützt die Lagestabilität der Gebinde, die Verzögerung von Lösungszuflüssen und die Rückhaltung von Schadstoffen aus defekten Endlagerbehältern. Der Quelldruck ist Teil der Auslegung des Ausbausystems.

Versagen des Ausbausystems vertikales Bohrloch: Unzureichender Quelldruck durch den Buffer kann die Stabilisierungs- und Rückhaltefunktion des Ausbausystems beeinträchtigen.

6.5.21 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (Einlagerungsbereich)

Die Alteration umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen der ALZ durch den Wetterstrom oder zutretende Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Alterationen in der ALZ können zu Änderungen der Zusammensetzung und des Volumens von Baustoffen führen und somit mechanische und hydraulische Eigenschaften verändern (Kapitel 6.5.9). Die Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.5.22 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (Einlagerungsbereich)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird die Volumenzunahme bzw. Volumenabnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur

hervorgerufen wird. Aufgrund der wärmeentwickelnden Abfälle ist der Prozess in den Einlagerungsbereichen von besonderer Bedeutung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Thermische Volumenveränderungen beeinflussen Porenraum und Mineralgefüge des Ausbausystems. Dadurch können sich mechanische Eigenschaften, wie die Festigkeit, ändern. Diese Einwirkungen werden bei der Auslegung des Ausbausystems berücksichtigt.

Versagen des Ausbausystems vertikales Bohrloch: Thermomechanische Spannungen bewirken Rissbildungen, die die Funktionen des Ausbausystem beeinträchtigen.

6.6 Komponente „Ausbausystem horizontales Bohrloch"

Das Ausbausystem für horizontale Einlagerungsbohrlöcher besteht aus Stahllinern mit integrierten Panzerrollen. Der Ausbau dient der Konturstabilisierung der Bohrlöcher, die Panzerrollen der Bewegbarkeit der Endlagergebinde um eine Rückholbarkeit der Abfallgebinde zu gewährleisten. Die Liner werden mit Stahldeckel verschlossen.

Der Ausbau betrifft ein Endlagerkonzept im Steinsalz.

6.6.1 Einwirkender Prozess: Auffahrung von Strecken (ELB)

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Streckenauffahrung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind zeitlich entkoppelt: Der Ausbau der Einlagerungsbohrungen erfolgt erst nach der Auffahrung von Strecken.

6.6.2 Einwirkender Prozess: Bohren eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Betriebsabläufe beim Stoßen von Einlagerungsbohrlöchern.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Das Einlagerungsbohrloch ist Voraussetzung zur Erstellung des Ausbaus. Das Stoßen und die Dimensionierung des Bohrlochs sind Teil der Auslegung.

Versagen des Ausbausystems horizontales Bohrloch: Menschliche und technische Fehler bei den Bohrarbeiten können den Einbau und somit die Funktion des Ausbausystems beeinträchtigen.

6.6.3 Einwirkender Prozess: Ausbau von Strecken

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Streckenausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Im Steinsalz ist an den Einlagerungspositionen ein Streckenausbau vorgesehen. Die Auswirkungen haben keine sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase, da der Ausbau der Strecke vor dem Stoßen des Bohrlochs erfolgt.

6.6.4 Einwirkender Prozess: Ausbau eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Bohrlochausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Einlagerungsbohrlöcher werden von Bohrlochbeschickungsstrecken aus eingerichtet. Der Grubenraum für das Einbringen der Stahlliner ist eng begrenzt.

Versagen des Ausbausystems horizontales Bohrloch: Menschliche und technische Fehler beim Einbau können das Ausbausystem beschädigen und seine Funktion beeinträchtigen.

6.6.5 Einwirkender Prozess: Einlagerungsbetrieb

Das FEP beschreibt den bestimmungsgemäßen Betrieb beim Transport und bei der Einlagerung von Endlagergebinden sowie beim Verschluss der Einlagerungsstrecken bzw. -bohrlöcher.

Erschütterungen, Luftfeuchte, Gase usw. während des Betriebes können den Ausbau beeinflussen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Bei dem Einlagerungsbetrieb kann das Ausbausystem beschädigt werden, z. B. durch fehlerhafte Einlagerungsvorgänge (Kokillensticking). Der bestimmungsgemäße Betrieb wird bei der Auslegung des Ausbaus berücksichtigt.

Versagen des Ausbausystems horizontales Bohrloch: Technische Defekte, fehlerhafte Einlagerungsvorgänge und Materialfehler bei der Einlagerung können das Ausbausystem beschädigen und seine Funktion beeinträchtigen.

6.6.6 Einwirkender Prozess: Bewetterung

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Einlagerungsbohrlöcher werden nicht bewettert. Die Auswirkungen der Wetter haben keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.6.7 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion

Das FEP beschreibt die (elektro-)chemische Reaktion von Metallen mit den Stoffen der Umgebung bei Gegenwart von wässrigen Lösungen oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

In den Einlagerungsbohrlöchern können z. B. die Stahlliner korrodieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Korrosion der Stahlliner beschädigt das Ausbausystem. Die Einwirkungen werden bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen des Ausbausystems horizontales Bohrloch: Hohe Korrosionsraten der Stahlliner können das Ausbausystem beschädigen und seine Funktion beeinträchtigen.

6.6.8 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen in Grubenbauen durch den Kontakt mit wässrigen Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Das Ausbausystem enthält keine Betonkomponenten.

6.6.9 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (ELB)

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustandes in Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten sowie durch Änderung des Fluiddrucks.

Die Einwirkung thermomechanischer Beanspruchung wird beim Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 6.6.22) behandelt.

Spannungsänderungen in technischen Komponenten können aus betrieblichen Lasten (z. B. Auffahrung), chemischen Prozessen (z. B. Volumenzunahme durch Metallkorrosion, Gasbildung) oder der Geosphäre (z. B. litho- bzw. hydrostatischer Druck, Erdbeben) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der Ausbau ist gegen Spannungsänderungen u. a. durch betriebliche Lasten, Hohlraumkonvergenz im bestimmungsgemäßen Betrieb sowie das Bemessungserdbeben ausgelegt.

Versagen des Ausbausystems horizontales Bohrloch: Fehlerhafte Auslegung und Interpretationen der geologischen Bedingungen oder auslegungsüberschreitende Erdbeben können den Ausbau beschädigen und seine Funktion beeinträchtigen.

6.6.10 Einwirkender Prozess: Konvergenz (ELB)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im umgebenden Gebirge einsetzt.

Konvergenz spannt die Stahlliner ein und schließt die ALZ.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Konvergenzentwicklung im bestimmungsgemäßen Betrieb ist eine Grundlage der Auslegungen. Nach dem Auflaufen des Gebirges lastet der Gebirgsdruck auf dem Ausbausystem; Konvergenzraten bestimmen die Einspannung des Ausbaus und das Schließen der ALZ, wodurch sich die Spannungsverhältnisse verändern (Kapitel 6.6.9).

Versagen des Ausbausystems horizontales Bohrloch: Fehlerhafte Auslegung und Fehlinterpretation der Konvergenzraten können den Ausbau beschädigen und seine Funktion beeinträchtigen.

6.6.11 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (ELB)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffen aus dem Wirtsgestein.

Durch die vorlaufende Erkundung sind starke Lösungs- und Gaszutritte im ELB nicht zu unterstellen. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Geringe Lösungs- und Gaszutritte in horizontale Einlagerungsbohrlöcher haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung in der Betriebsphase.

6.6.12 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (ELB)

Das FEP betrifft die Degradation von organischen Bestandteilen der Abfälle, Moderatormaterialien, Asphaltdichtungen der Verschlussbauwerke und Kohlenwasserstoffen im Wirtsgestein.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Das Ausbausystem enthält keine organischen Bestandteile.

6.6.13 Einwirkender Prozess: Einbringen von Buffer und Versatz (ELB)

Das Einbringen von Buffer und Versatz erfolgt während des Einlagerungsbetriebs bzw. während des Verschlusses der Grubenräume im Rückbau.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

In diesem Ausbausystem wird kein Buffer und Versatz eingebaut.

6.6.14 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungsbohrung (ELB)

Das FEP beschreibt alle Prozesse beim Stoßen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Eine Erkundungsbohrung stellt hier die Vorbohrung für eine Einlagerungsbohrung dar. Bei positivem Befund wird die Erkundungsbohrung überbohrt. Bei negativem Befund wird die Erkundungsbohrung nicht weiter verwendet und sofort verfüllt und abgedichtet. Auswirkungen sind bei den Komponenten „Wirtsgestein (ELB)“ und „Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (ELB)“ beschrieben (Kapitel 6.9 und 6.16).

6.6.15 Einwirkender Prozess: Errichten eines Verschlussbauwerkes (ELB)

Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und der Widerlager eines Verschlussbauwerkes.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind räumlich getrennt: Die Einlagerungsbohrlöcher werden nicht in Einbauorten der Verschlussbauwerke gestoßen.

6.6.16 Einwirkender Prozess: Errichten des Verschlusses einer Einlagerungsbohrung

Vertikale Einlagerungsbohrlöcher werden durch einen Bohrlochverschluss abgedichtet. Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und Widerlager eines Bohrlochverschlusses.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Für horizontale Einlagerungsbohrlöcher ist kein Bohrlochverschluss vorgesehen.

6.6.17 Einwirkender Prozess: Radioaktiver Zerfall (ELB)

Das FEP beschreibt Kernumwandlungsprozesse von Radionukliden unter Aussendung von Strahlung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Diese Auswirkungen auf das Ausbausystem haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.6.18 Einwirkender Prozess: Radiolyse

Unter Radiolyse versteht man die Veränderung chemischer Verbindungen durch die Einwirkung ionisierender Strahlung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Diese Auswirkungen auf das Ausbausystem haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.6.19 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (ELB)

Wärme wird von den eingelagerten Endlagergebinden und vom Gebirge abgegeben und in nicht abgeworfenen Teilen des Grubengebäudes über die Wetter in die Atmosphäre transportiert. Die Wärmeentwicklung wird bei der Auslegung technischer Bauwerke berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Wärmefluss kann Volumenänderungen und thermomechanische Spannungen im Liner hervorrufen, siehe Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 6.6.22).

6.6.20 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (ELB)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Das Ausbausystem enthält keine Tonminerale.

6.6.21 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (ELB)

Die Alteration umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen der ALZ durch den Wetterstrom oder zutretende Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Solange die Integrität des Stahlliners gewährleistet ist, haben die Auswirkungen keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.6.22 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (ELB)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird die Volumenzunahme bzw. Volumenabnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen wird. Aufgrund der wärmeentwickelnden Abfälle ist der Prozess in den Einlagerungsbereichen von besonderer Bedeutung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Thermische Volumenveränderungen beeinflussen den Stahlliner. Dadurch können sich mechanische Eigenschaften, wie die Festigkeit, ändern. Diese Einwirkungen werden bei der Auslegung des Ausbausystems berücksichtigt.

Versagen des Ausbausystems horizontales Bohrlochloch: Thermomechanische Spannungen können die Funktionen des Stahlliners beeinträchtigen, falls Fehler bei der Auslegung des Ausbaus aufgetreten sind.

6.7 Komponente „Bohrlocheinbauten und Schlitten"

Bei der Einlagerung von CASTOR-Behältern in horizontale Kurzbohrlöcher im Steinsalz erfolgt kein Bohrlochausbau. Der CASTOR-Behälter wird auf Schienen und einem Metallschlitten in die Einlagerungsbohrlöcher geschoben.

6.7.1 Einwirkender Prozess: Auffahrung von Strecken (ELB)

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Streckenauffahrung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind zeitlich entkoppelt: Die Einlagerung erfolgt erst nach der Auffahrung von Strecken.

6.7.2 Einwirkender Prozess: Bohren eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Betriebsabläufe beim Stoßen von Einlagerungsbohrlöchern.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Das Bohren eines Einlagerungsbohrlochs ist Voraussetzung zum Einbau der Schienen. Das Stoßen und die Dimensionierung des Bohrlochs sind Teil der Auslegung.

Versagen der Bohrlocheinbauten: Menschliche und technische Fehler bei den Bohrarbeiten können den Einbau der Schienen beeinträchtigen.

6.7.3 Einwirkender Prozess: Ausbau von Strecken

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Streckenausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Im Steinsalz ist an den Einlagerungspositionen ein Streckenausbau vorgesehen. Die Auswirkungen haben keine sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase, da der Ausbau der Strecke vor dem Stoßen des Bohrlochs erfolgt.

6.7.4 Einwirkender Prozess: Ausbau eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Bohrlochausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Es gibt keinen Ausbau in Einlagerungsbohrlöchern, allerdings werden Schienen zur Führung des Schlittens verlegt; diese werden zu den Bohrlocheinbauten gezählt.

6.7.5 Einwirkender Prozess: Einlagerungsbetrieb

Das FEP beschreibt den bestimmungsgemäßen Betrieb beim Transport und bei der Einlagerung von Endlagergebinden sowie beim Verschluss der Einlagerungsstrecken bzw. -bohrlöcher.

Erschütterungen, Luftfeuchte, Gase usw. während des Betriebes können Bohrlocheinbauten beeinflussen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Beim Einlagerungsbetrieb können Schienen und Schlitten beschädigt werden, z. B. durch fehlerhafte Einlagerungsvorgänge. Der bestimmungsgemäße Betrieb wird bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen der Bohrlocheinbauten: Technische Defekte, fehlerhafte Einlagerungsvorgänge oder Materialfehler können Schienen beschädigen.

Versagen des Schlittens: Technische Defekte, fehlerhafte Einlagerungsvorgänge oder Materialfehler können Schlitten beschädigen.

6.7.6 Einwirkender Prozess: Bewetterung

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Einlagerungsbohrlöcher werden nicht bewettert. Die Auswirkungen der Grubenwetter haben keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.7.7 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion

Das FEP beschreibt die (elektro-)chemische Reaktion von Metallen mit den Stoffen der Umgebung bei Gegenwart von wässrigen Lösungen oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

In diesen Einlagerungsbohrlöchern können z. B. Schienen und Schlitten korrodieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Korrosion beschädigt Schienen und Schlitten. Diese Einwirkungen werden bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen der Bohrlocheinbauten: Hohe Korrosionsraten der Schienen können ihre Funktion beeinträchtigen.

Versagen des Schlittens: Hohe Korrosionsraten der Schlitten können ihre Funktion beeinträchtigen.

6.7.8 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen in Grubenbauen durch Kontakt mit wässrigen Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Bohrlocheinbauten und der Schlitten enthalten keine Betonkomponenten.

6.7.9 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (ELB)

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustandes in Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten sowie durch Änderung des Fluiddrucks.

Die Einwirkung thermomechanischer Beanspruchung wird beim Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 6.7.22) behandelt.

Spannungsänderungen in technischen Komponenten können aus betrieblichen Lasten (z. B. Auffahrung), chemischen Prozessen (z. B. Volumenzunahme durch Metallkorrosion, Gasbildung) oder der Geosphäre (z. B. litho- bzw. hydrostatischer Druck, Erdbeben) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Bohrlocheinbauten, wie Schienen, sind für den bestimmungsgemäßen Betrieb ausgelegt. Die Spannungsänderungen können die Funktionsfähigkeit von Schienen nicht unmittelbar beeinflussen, wirken aber über die Konvergenz auf diese, siehe Prozess „Konvergenz“ (Kapitel 6.7.10).

6.7.10 Einwirkender Prozess: Konvergenz (ELB)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im umgebenden Gebirge einsetzt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Konvergenz verändert die Geometrie der Kurzbohrlöcher und deren Kontur. Der Zeitraum bis zur Einlagerung des Endlagergebindes ist so kurz, dass die Einwirkung der Konvergenz keine sicherheitstechnische Bedeutung hat. Nach Abschluss der Einlagerung kompaktiert die Konvergenz den Versatz und schließt den Behälter ein

6.7.11 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (ELB)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffen aus dem Wirtsgestein.

Durch die vorlaufende Erkundung sind starke Lösungs- und Gaszutritte im ELB nicht zu unterstellen. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Bohrlocheinbauten und Schlitten sind für den bestimmungsgemäßen Betrieb ausgelegt. Fluidzutritte können die Schienen oder Schlitten in ihrer Funktion nicht unmittelbar beeinträchtigen. Geringe Lösungsmengen bewirken u. U. Korrosionsprozesse, siehe Prozess „Metallkorrosion“ (Kapitel 6.7.7).

6.7.12 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (ELB)

Das FEP betrifft die Degradation von organischen Bestandteilen der Abfälle, Moderatormaterialien, Asphaltdichtungen der Verschlussbauwerke und Kohlenwasserstoffen im Wirtsgestein.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Bohrlocheinbauten und Schlitten enthalten keine organischen Bestandteile.

6.7.13 Einwirkender Prozess: Einbringen von Buffer und Versatz (ELB)

Das Einbringen von Buffer und Versatz erfolgt während des Einlagerungsbetriebs bzw. während des Verschlusses der Grubenräume im Rückbau.

Im Kurzbohrloch wird der nach Einlagerung verbleibende Hohlraum versetzt, aber kein Buffer eingebracht.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind zeitlich getrennt: der Versatz wird erst eingebracht, wenn keine Anforderungen mehr an Schienen oder Schlitten bestehen.

6.7.14 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungsbohrung (ELB)

Das FEP beschreibt alle Prozesse beim Stoßen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Eine Erkundungsbohrung stellt hier die Vorbohrung für ein Kurzbohrloch dar. Bei positivem Befund wird die Erkundungsbohrung überbohrt. Bei negativem Befund wird die Erkundungsbohrung nicht weiter verwendet und sofort verfüllt und abgedichtet. Die Auswirkungen sind bei den Komponenten „Wirtsgestein (ELB)“ und „Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (ELB)“ beschrieben (Kapitel 6.9 und 6.16).

6.7.15 Einwirkender Prozess: Errichten eines Verschlussbauwerkes (ELB)

Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und der Widerlager eines Verschlussbauwerkes.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind räumlich getrennt.

6.7.16 Einwirkender Prozess: Errichten des Verschlusses einer Einlagerungsbohrung

Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und Widerlager eines Bohrlochverschlusses.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Für die Kurzbohrlöcher ist kein Bohrlochverschluss vorgesehen.

6.7.17 Einwirkender Prozess: Radioaktiver Zerfall (ELB)

Das FEP beschreibt Kernumwandlungsprozesse von Radionukliden unter Aussendung von Strahlung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Diese Auswirkungen auf Schienen und Schlitten haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.7.18 Einwirkender Prozess: Radiolyse

Unter Radiolyse versteht man die Veränderung chemischer Verbindungen durch die Einwirkung ionisierender Strahlung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Diese Auswirkungen auf Schienen und Schlitten haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.7.19 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (ELB)

Wärme wird von den eingelagerten Endlagergebinden und vom Gebirge abgegeben und in nicht abgeworfenen Teilen des Grubengebäudes über die Wetter in die Atmosphäre transportiert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Da das Kurzbohrloch unmittelbar nach der Einlagerung des CASTOR-Behälters abgeworfen wird, sind die thermischen Einwirkungen auf die Schienen und Schlitten nicht von sicherheitstechnischer Bedeutung.

6.7.20 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (ELB)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Schienen und Schlitten enthalten keine Tonminerale.

6.7.21 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (ELB)

Die Alteration umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen der ALZ durch den Wetterstrom oder zutretende Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Alterationen in der ALZ können sich auf Schienen und Schlitten durch mechanische Spannungen und lokale Änderungen der hydrochemischen Verhältnisse auswirken, siehe Prozesse „Spannungsänderung“ (Kapitel 6.7.9) und „Metallkorrosion“ (Kapitel 6.7.7). Die Alterationen in der ALZ haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.7.22 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (ELB)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird die Volumenzunahme bzw. Volumenabnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen wird. Aufgrund der wärmeentwickelnden Abfälle ist der Prozess in den Einlagerungsbereichen von besonderer Bedeutung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Thermomechanische Spannungen können generell zu Verformungen der Schienen und Schlitten führen. Da diese erst kurz vor Einlagerung eingebaut werden, ist der Wärmeübertrag gering und die thermomechanische Beanspruchung während der Betriebsphase des Bohrlochs zu vernachlässigen.

6.8 Komponente „Technische Einrichtungen (Einlagerungsbereich)"

Während der Auffahrung, des Betriebes und der Stilllegung der Einlagerungsbereiche (ELB) werden verschiedene technische Einrichtungen für Transport, Einlagerung, Wetterführung, Energieversorgung etc. benötigt, wie z. B. Bohrlochschleusen, Schienen, Fahrbahnen, Lutten, Kabel und Leitungen. Die technischen Einrichtungen werden in Grubenbaue eingebaut und vor der Stilllegung weitgehend demontiert und entfernt.

Alle im Folgenden beschriebenen betrieblichen Abläufe können bei menschlichen Fehlern zu Beschädigungen der technischen Einrichtungen führen. Diese werden nur beim einwirkenden Prozess „Einlagerungsbetrieb“ (Kapitel 6.8.5) beschrieben.

Einwirkungen von Erkundungs- und Überwachungsbohrungen werden in Kapitel 6.16 beschrieben. Einwirkungen von Fahrzeugen werden – umfassend für das gesamte Endlagerbergwerk – in Kapitel 6.20 dargestellt.

6.8.1 Einwirkender Prozess: Auffahrung von Strecken (ELB)

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Streckenauffahrung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozesse und Komponente sind zeitlich entkoppelt: Die Auffahrung von Strecken ist Voraussetzung für Einbau und Installation technischer Einrichtungen. Die Strecken werden vorher aufgefahren.

6.8.2 Einwirkender Prozess: Bohren eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Betriebsabläufe beim Stoßen von Einlagerungsbohrlöchern.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Beim Stoßen eines Einlagerungsbohrlochs kann es durch menschliche Fehler zu Beschädigungen der technischen Einrichtungen kommen. Diese werden beim einwirkenden Prozess „Einlagerungsbetrieb“ (Kapitel 6.8.5) beschrieben.

6.8.3 Einwirkender Prozess: Ausbau von Strecken

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Streckenausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind zeitlich entkoppelt: Der Ausbau von Strecken ist eine Voraussetzung für Einbau und Installation von technischen Einrichtungen, um Stand- und Arbeitssicherheit zu gewährleisten. Strecken werden vorab ausgebaut – wenn die Notwendigkeit besteht. Außerdem werden technische Einrichtungen dem Streckenausbau angepasst.

6.8.4 Einwirkender Prozess: Ausbau eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Bohrlochausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Beim Ausbau eines Einlagerungsbohrlochs kann es durch menschliche Fehler zu Beschädigungen der technischen Einrichtungen kommen. Diese werden beim einwirkenden Prozess „Einlagerungsbetrieb“ (Kapitel 6.8.5) beschrieben.

6.8.5 Einwirkender Prozess: Einlagerungsbetrieb

Das FEP beschreibt den bestimmungsgemäßen Betrieb beim Transport und bei der Einlagerung von Endlagergebinden sowie beim Verschluss der Einlagerungsstrecken bzw. -bohrlöcher.

Erschütterungen, Luftfeuchte, Gase usw. während des Betriebes können technische Einrichtungen beeinflussen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen

Beim Einlagerungsbetrieb können technische Einrichtungen, wie Lutten, Leitungen, Kabel etc., beschädigt werden. Der bestimmungsgemäße Betrieb wird bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen technischer Einrichtungen: Defekte, Erschütterungen, fehlerhafte Einlagerungsvorgänge und Materialfehler können die Funktionsfähigkeit technischer Einrichtungen beeinträchtigen.

Hierzu gehören das Versagen der Stromversorgung, Bewetterung, Baustoffversorgung etc.

6.8.6 Einwirkender Prozess: Bewetterung

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Während der Betriebsphase müssen Einlagerungsstrecken bewettert werden. Hierzu sind umfangreiche Einbauten und ggf. zusätzliche Grubenbaue erforderlich.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Grubenbaue mit technischen Einrichtungen werden in der Regel während des Betriebs bewettert.

Versagen technischer Einrichtungen: Die Feuchtigkeit der Grubenwetter kann zur Funktionsstörung von elektrischen Anlagen führen.

6.8.7 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion

Das FEP beschreibt die (elektro-)chemische Reaktion von Metallen mit den Stoffen der Umgebung bei Gegenwart von wässrigen Lösungen oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

Metallkomponenten technischer Einrichtungen, wie Traversen, Halterungen, Schienen etc., können korrodieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Korrosion von Metallteilen beschädigt technische Einrichtungen und kann Betriebsunterbrechungen verursachen. Die Einwirkungen werden bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen technischer Einrichtungen: Hohe Korrosionsraten von Metallen können die Funktionsfähigkeit technischer Einrichtungen beeinträchtigen.

6.8.8 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit Lösungen.

Betonkomponenten technischer Einrichtungen, wie Fundamente, Fahrbahnen etc., können korrodieren. Durch die Änderung der Hydrochemie kann die Korrosionsbeständigkeit des Betons beeinflusst werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Korrosion von Beton kann technische Einrichtungen beschädigen. Die Auswirkungen werden bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen technischer Einrichtungen: Hohe Korrosionsraten von Beton können die Funktionsfähigkeit technischer Einrichtungen beeinträchtigen.

6.8.9 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (ELB)

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustandes in Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten sowie durch Änderung des Fluiddrucks.

Die Einwirkung thermomechanischer Beanspruchung wird beim Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 6.8.22) behandelt.

Spannungsänderungen können aus betrieblichen Lasten (z. B. Auffahrung), chemischen Prozessen (z. B. Quellen von Baustoffen, Gasbildung) oder der Geosphäre (z. B. litho- bzw. hydrostatischer Druck, Erdbeben) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Technische Einrichtungen sind gegen Spannungsänderungen u. a. durch betriebliche Lasten, Hohlraumkonvergenz im bestimmungsgemäßen Betrieb sowie durch das Bemessungserdbeben ausgelegt.

Versagen technischer Einrichtungen: Fehlerhafte Auslegung, Fehlinterpretation der geologischen Bedingungen oder auslegungsüberschreitende Erdbeben können technische Einrichtungen beschädigen und ihre Funktionsfähigkeit beeinträchtigen.

6.8.10 Einwirkender Prozess: Konvergenz (ELB)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im umgebenden Gebirge einsetzt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Konvergenz verändert die Geometrie der Kontur. Die Konvergenzentwicklung wird im bestimmungsgemäßen Betrieb berücksichtigt.

Versagen technischer Einrichtungen: Hohe Konvergenzraten und Fehleinschätzungen können zu technischen Defekten führen, Aufhängungen und Befestigungen beschädigen und somit die Funktionsfähigkeit von technischen Einrichtungen beeinträchtigen.

6.8.11 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (ELB)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffen aus dem Wirtsgestein.

Durch die vorlaufende Erkundung sind starke Lösungs- und Gaszutritte im ELB nicht zu unterstellen. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Lösungen bzw. Wässer können in technische Einrichtungen eindringen.

Versagen technischer Einrichtungen: Fluide können technische Einrichtungen beschädigen und Funktionsstörungen auslösen.

Hierzu gehören das Versagen der Stromversorgung, Bewetterung, Kommunikation etc. Sollten sich Zündfunken bilden, können geringe Gaszutritte signifikante Einwirkungen verursachen (Kombination von EVI).

6.8.12 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (ELB)

Das FEP betrifft die Degradation organischer Bestandteile von technischen Einrichtungen, z. B. Kunststoffe, PVC, Lacke.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Einige Einrichtungen, wie Lutten, Leitungen, Kabelummantelungen etc., bestehen u. a. aus organischen Bestandteilen. Die Degradation verläuft jedoch sehr langsam und hat während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.8.13 Einwirkender Prozess: Einbringen von Buffer und Versatz (ELB)

Das Einbringen von Buffer und Versatz erfolgt während des Einlagerungsbetriebs bzw. während des Verschlusses der Grubenräume im Rückbau.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt: vor dem Verfüllen mit Buffer bzw. Versatz werden technische Einrichtungen rückgebaut. Falls sie verbleiben, hat das keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.8.14 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungsbohrung (ELB)

Das FEP beschreibt alle Prozesse beim Stoßen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die verfügbaren Grubenräume für das Stoßen der Bohrungen sind oft begrenzt und die Bohrgeräte sind vergleichsweise groß.

Versagen technischer Einrichtungen: Technische Defekte, fehlerhafte Einlagerungsvorgänge und unsachgemäße Bohrarbeiten können technische Einrichtungen beschädigen und die Funktionsfähigkeit beeinträchtigen.

6.8.15 Einwirkender Prozess: Errichten eines Verschlussbauwerkes (ELB)

Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und Widerlager eines Verschlussbauwerkes.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt: Die technischen Einrichtungen werden vor dem Errichten von Verschlussbauwerken zurückgebaut.

6.8.16 Einwirkender Prozess: Errichten des Verschlusses einer Einlagerungsbohrung

Vertikale Einlagerungsbohrlöcher werden durch einen Bohrlochverschluss abgedichtet. Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und der Widerlager.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die verfügbaren Grubenräume für den Einbau der Verschlüsse sind oft begrenzt und die Maschinen sind vergleichsweise groß.

Beim Errichten des Verschlusses eines Einlagerungsbohrlochs kann es durch menschliche Fehler zu Beschädigungen der technischen Einrichtungen kommen. Diese werden beim einwirkenden Prozess „Einlagerungsbetrieb“ (Kapitel 6.8.5) beschrieben.

6.8.17 Einwirkender Prozess: Radioaktiver Zerfall (ELB)

Das FEP beschreibt Kernumwandlungsprozesse von Radionukliden unter Aussendung von Strahlung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Diese Auswirkungen auf technische Einrichtungen haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.8.18 Einwirkender Prozess: Radiolyse

Unter Radiolyse versteht man die Veränderung chemischer Verbindungen durch die Einwirkung ionisierender Strahlung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Diese Auswirkungen auf technische Einrichtungen haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.8.19 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (ELB)

Wärme wird von den eingelagerten Endlagergebinden und vom Gebirge abgegeben und in nicht abgeworfenen Teilen des Grubengebäudes über die Wetter in die Atmosphäre transportiert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Übertragung von Wärme führt zu Mineralumwandlungen, Volumenänderungen und thermomechanischen Spannungen in den technischen Einrichtungen, siehe Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 6.8.22). Technische Einrichtungen können auch Wärme produzieren.

Versagen technischer Einrichtungen: Das Überhitzen von technischen Anlagen kann zu Funktionsstörungen führen.

Feuer: Das Überhitzen von technischen Anlagen kann Feuer verursachen.

6.8.20 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (ELB)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die technischen Einrichtungen enthalten keine Tonminerale.

6.8.21 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (ELB)

Die Alteration umfasst chemisch-mineralogische Umwandlungen der ALZ durch den Wetterstrom oder zutretende Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Alterationen in der ALZ können sich auf technische Einrichtungen durch mechanische Spannungen und lokale Änderungen der hydrochemischen Verhältnisse auswirken, siehe Prozesse „Spannungsänderung“ (Kapitel 6.8.9) und „Metallkorrosion“ (Kapitel 6.8.7).

6.8.22 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (ELB)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird die Volumenzunahme bzw. Volumenabnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen wird. Aufgrund der wärmeentwickelnden Abfälle ist der Prozess in den Einlagerungsbereichen von besonderer Bedeutung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Thermische Volumenveränderungen beeinflussen den Porenraum und das Gefüge der Baukörper, wie Fundamente, Aufhängungen, Fahrbahnen etc. Dadurch können sich deren mechanische Eigenschaften, wie die Festigkeit, verändern. Diese Einwirkungen werden bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen technischer Einrichtungen: Thermomechanische Spannungen können Risse in Baukörpern bilden, die die Funktion technischer Einrichtungen beeinträchtigen.

Dazu gehören z. B. Fahrbahnen, Lüfter, Transformatoren, Kabelschränke etc.

6.9 Komponente „Wirtsgestein (Einlagerungsbereich)"

Die Komponente beschreibt mechanische, hydraulische und chemisch-mineralogische Eigenschaften der Wirtsgesteine Steinsalz, Tongestein oder Kristallingestein im Umfeld von Einlagerungsbereichen (ELB).

Die Komponente „Wirtsgestein“ umfasst nur die intakte Gesteinsformation; nicht dazu gehören gebirgsmechanisch beanspruchte und plastisch verformte Gesteinsbereiche des Wirtsgesteins in der Kontur der Grubenbaue; diese werden mit der Komponente „Auflockerungszone“ in Kapitel 6.10 betrachtet.

6.9.1 Einwirkender Prozess: Auffahrung von Strecken (ELB)

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Streckenauffahrung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Streckenauffahrungen beeinflussen die Spannungsverhältnisse im angrenzenden Gebirge (vgl. Kapitel 6.9.10). Es bilden sich aufgelockerte Gesteinsbereiche, die zur Komponente „Auflockerungszone“ (Kapitel 6.10) gehören. Außerdem kann es zur Reaktivierung oder Bildung von Störungen und Klüften kommen, wodurch sich hydraulische Wegsamkeiten im Wirtsgestein öffnen und mit Streckenauffahrungen verbinden können.

Bläser: Beim Anfahren unerkannter Gasreservoire im Wirtsgestein, die unter hohem Druck stehen, können Gase schlagartig austreten.

Flutung der Grubenbaue: Beim Anfahren unerkannter Lösungsreservoire im Wirtsgestein können Lösungen in Grubenbaue vordringen.

Freisetzung chemotoxischer Stoffe: Beim Anfahren unerkannter Lösungsreservoire im Wirtsgestein können chemotoxische Stoffe in Grubenbaue vordringen.

Freisetzung radioaktiver Stoffe: Beim Anfahren unerkannter Gasreservoire im Wirtsgestein können radioaktive Stoffe – z. B. Radon – in Grubenbaue vordringen.

Feuer: Beim Zutritt brennbarer Gase (CH_4, H_2) aus dem Wirtsgestein können durch Zündfunken beim Auffahren Feuer ausbrechen.

Explosion: Beim Zutritt von Gasen können sich kritische Gasgemische bilden, die durch Zündfunken beim Auffahren explodieren können.

6.9.2 Einwirkender Prozess: Bohren eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Betriebsabläufe beim Stoßen von Einlagerungsbohrlöchern. Die Einlagerungsbohrlöcher werden so dimensioniert, dass die Barrierefunktion des Wirtsgesteins nicht in unzulässiger Weise beeinträchtigt wird.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Das Erstellen von Bohrungen bedingt mechanische Beanspruchungen des Gebirges. Über die Einwirkungen der vorlaufenden Erkundungsbohrungen hinaus (Kapitel 6.9.14) gibt es keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.9.3 Einwirkender Prozess: Ausbau von Strecken

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Streckenausbaus, einschließlich des Setzens von Ankern mehrere Meter in das Gestein.

Der Streckenausbau stabilisiert das Gebirge.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Das Einbringen des Ausbaus bedingt mechanische Beanspruchungen des Gebirges. Es bilden sich aufgelockerte Gesteinsbereiche, die zur Komponente „Auflockerungszone“ (Kapitel 6.10) gehören. Es kann auch zur Reaktivierung oder Neubildung von Störungen und Klüften führen, wodurch sich hydraulische Wegsamkeiten im Wirtsgestein öffnen und mit Auffahrungen verbinden können.

Bläser: Beim Anbohren unerkannter Gasreservoire im Wirtsgestein, die unter hohem Druck stehen, können Gase schlagartig austreten.

Flutung der Grubenbaue: Beim Anbohren unerkannter Lösungsreservoire im Wirtsgestein können Lösungen in Grubenbaue vordringen**.**

Freisetzung chemotoxischer Stoffe: Beim Anbohren unerkannter Lösungsreservoire im Wirtsgestein können chemotoxische Stoffe in Grubenbaue vordringen.

Freisetzung radioaktiver Stoffe: Beim Anbohren unerkannter Gasreservoire im Wirtsgestein können radioaktive Stoffe – z. B. Radon – in Grubenbaue vordringen.

Feuer: Beim Zutritt brennbarer Gase (CH_4, H_2) aus dem Wirtsgestein können durch Zündfunken beim Ausbauen Feuer ausbrechen.

Explosion: Beim Zutritt von Gasen können sich kritische Gasgemische bilden, die durch Zündfunken beim Ausbauen explodieren können.

6.9.4 Einwirkender Prozess: Ausbau eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Bohrlochausbaus.

Der Ausbau stabilisiert das Gebirge.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Das Einbringen des Ausbaus bedingt mechanische Belastungen des Wirtsgesteins, insbesondere der aufgelockerten Gesteinsbereiche der ALZ, siehe Prozess „Spannungsänderung“ (Kapitel 6.9.10). Konsequenzen werden bei der Komponente „Auflockerungszone“ (Kapitel 6.10) beschrieben.

6.9.5 Einwirkender Prozess: Einlagerungsbetrieb

Das FEP beschreibt den bestimmungsgemäßen Betrieb beim Transport und bei der Einlagerung von Endlagergebinden sowie beim Verschluss der Einlagerungsstrecken bzw. -bohrlöcher.

Erschütterungen, Luftfeuchte, Gase usw. während des Betriebes können das Wirtsgestein beeinflussen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der Einlagerungsbetrieb bedingt mechanische Beanspruchungen des Wirtsgesteins, siehe Prozess „Spannungsänderung“ (Kapitel 6.9.10). Konsequenzen werden bei der Komponente „Auflockerungszone“ (Kapitel 6.10) beschrieben.

6.9.6 Einwirkender Prozess: Konvergenz (ELB)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im umgebenden Gebirge einsetzt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Konvergenz bewirkt Spannungsänderungen und -umlagerungen im Wirtsgestein, siehe Prozess „Spannungsänderung“ (Kapitel 6.9.10). Aufgrund dessen bilden sich ALZ im konturnahen Gebirgsbereich, siehe Komponente „Auflockerungszone“ (Kapitel 6.10).

6.9.7 Einwirkender Prozess: Bewetterung

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Während des Betriebs müssen Einlagerungsbereiche bewettert werden. Hierzu sind umfangreiche Einbauten und ggf. zusätzliche Grubenbaue erforderlich.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Bewetterung beeinflusst thermische, chemische und hydraulische Eigenschaften im konturnahen Gebirge. In einigen Grubenbereichen kondensiert Luftfeuchtigkeit, in anderen verdunstet sie. Bewetterung kann zur Teilentsättigung im Tongestein und zur Aufnahme von Feuchtigkeit im Steinsalz führen. Diese Auswirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.9.8 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion

Das FEP beschreibt die (elektro-)chemische Reaktion von Metallen mit den Stoffen der Umgebung bei Gegenwart von wässrigen Lösungen oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

Im Wirtsgestein liegt kein Metall vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Im Wirtsgestein können sich mit Stahllinern ausgebaute Bohrungen, Stahlanker und Bohrgestänge befinden. Diese Metalle gehören nicht zur Komponente „Wirtsgestein".

Sie werden den Komponenten für die Ausbausysteme der Bohrungen (Kapitel 6.5 und 6.6) zugeordnet.

6.9.9 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit Lösungen.

Im Wirtsgestein liegt kein Zement vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Im Wirtsgestein können sich mit Zement verfüllte Bohrungen befinden. Dieser Zement gehört nicht zur Komponente „Wirtsgestein". Die Einwirkungen sind der Komponente „Erkundungs- oder Überwachungsbohrung“ (Kapitel 6.16) zugeordnet.

Zement von Injektionen in Störungen und Klüften kann korrodieren und Volumen- und Spannungsänderungen auslösen (Kapitel 6.9.10). Die Auswirkungen haben währernd der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.9.10 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (ELB)

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustandes in Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten sowie durch Änderung des Fluiddrucks.

Die Einwirkung thermomechanischer Beanspruchung wird beim Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 6.9.22) behandelt.

Die Spannungsänderungen im Wirtsgestein können aus betrieblichen Lasten (z. B. Auffahrung) oder aus der Geosphäre (z. B. Erdbeben) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch die Spannungsänderungen bilden sich aufgelockerte und entfestigte Gesteinsbereiche. Konsequenzen werden bei der Komponente „Auflockerungszone“ (Kapitel 6.10) beschrieben.

Spannungsumlagerungen durch Auffahrungen können auch zur Reaktivierung oder Bildung von Störungen und Klüften führen, wodurch sich hydraulische Wegsamkeiten im Wirtsgestein öffnen und mit Auffahrungen verbinden können.

Flutung der Grubenbaue: Durch Spannungsänderungen können unerkannte Lösungsreservoire im Wirtsgestein hydraulisch angeschlossen werden und Lösung in Grubenbaue vordringen.

Bläser: Durch Spannungsänderungen können Gase im Wirtsgestein, die unter hohem Druck stehen, schlagartig austreten.

Freisetzung chemotoxischer Stoffe: Durch Spannungsänderungen können unerkannte Lösungsreservoire im Wirtsgestein hydraulisch angeschlossen werden und chemotoxische Stoffe (KWS) austreten.

Freisetzung radioaktiver Stoffe: Durch Spannungsänderungen können radioaktive Gase – z. B. Radon – im Wirtsgestein hydraulisch angeschlossen werden und austreten.

6.9.11 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (ELB)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffen aus dem Wirtsgestein.

Durch die vorlaufende Erkundung sind starke Lösungs- und Gaszutritte im ELB nicht zu unterstellen. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch den Fluidzutritt in das Grubengebäude sinkt der Fluiddruck im Wirtsgestein, wodurch die Spannungsverhältnisse beeinflusst werden (Kapitel 6.9.10). Geringe Lösungs- und Gaszutritte haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung in der Betriebsphase.

6.9.12 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (ELB)

Das FEP betrifft die Zersetzung von organischen Bestandteilen der Abfälle, Moderatormaterialien, Asphaltdichtungen der Verschlussbauwerke und Kohlenwasserstoffen im Wirtsgestein.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Das Wirtsgestein enthält nur geringe Mengen organische Bestandteile. Die Zersetzung der Organika im Wirtsgestein führt zur Methan-Bildung. Dadurch kann der Fluiddruck im Wirtsgestein ansteigen, wodurch die Spannungsverhältnisse beeinflusst werden

(Kapitel 6.9.10). Die Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.9.13 Einwirkender Prozess: Einbringen von Buffer und Versatz (ELB)

Das Einbringen von Buffer und Versatz erfolgt während des Einlagerungsbetriebes bzw. während des Verschlusses der Grubenräume im Rückbau.

Erschütterungen während des Einbringens können das Wirtsgestein beeinflussen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Das Einbringen bedingt mechanische Belastungen des Wirtsgesteins, insbesondere der aufgelockerten Gesteinsbereiche, siehe Prozess „Spannungsänderung“ (Kapitel 6.9.10). Konsequenzen werden bei der Komponente „Auflockerungszone“ (Kapitel 6.10) beschrieben.

6.9.14 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungsbohrung (ELB)

Das FEP beschreibt die Prozesse beim Stoßen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung.

Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen stellen Wegsamkeiten im Gebirge dar.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Nicht anforderungsgerecht verfüllte Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen sind potenzielle Zutrittspfade für Fluide.

Flutung der Grubenbaue: Durch fehlerhaftes Erstellen und Verschließen können Lösungen in das Grubengebäude vordringen.

Bläser: Beim Anbohren unerkannter Gasreservoire im Wirtsgestein, die unter hohem Druck stehen, schlagartig entlasten.

Freisetzung chemotoxischer Stoffe: Durch fehlerhaftes Erstellen und Verschließen kann es zur Freisetzung chemotoxischer Stoffe in das Grubengebäude kommen.

Freisetzung radioaktiver Stoffe: Durch fehlerhaftes Erstellen und Verschließen kann es zur Freisetzung von radioaktiven Gasen – z. B. Radon – in das Grubengebäude kommen.

Feuer: Durch fehlerhaftes Erstellen und Verschließen können brennbare Gase in die Bohrung eintreten und durch Zündfunken ein Feuer verursachen.

Explosion: Durch fehlerhaftes Erstellen und Verschließen können Gase in die Bohrung eintreten, kritische Gasgemische bilden und durch Funken gezündet werden.

6.9.15 Einwirkender Prozess: Errichten eines Verschlussbauwerkes (ELB)

Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und der Widerlager eines Verschlussbauwerkes.

Erschütterungen während des Einbaus können das Wirtsgestein beeinflussen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der Einbau bedingt mechanische Beanspruchungen des Wirtsgesteins, insbesondere der aufgelockerten Gesteinsbereiche, siehe Prozess „Spannungsänderung“ (Kapitel 6.9.10). Konsequenzen werden bei der Komponente „Auflockerungszone“ (Kapitel 6.10) beschrieben.

6.9.16 Einwirkender Prozess: Errichten des Verschlusses einer Einlagerungsbohrung

Vertikale Einlagerungsbohrlöcher werden durch einen Bohrlochverschluss abgedichtet. Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und der Widerlager.

Der Bohrlochverschluss ist oberhalb des Ausbausystems des Bohrlochs angeordnet.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Das Einbringen bedingt mechanische Belastungen des Wirtsgesteins, insbesondere der aufgelockerten Gesteinsbereiche der ALZ, siehe Prozess „Spannungsänderung“ (Kapitel 6.9.10). Konsequenzen werden bei der Komponente „Auflockerungszone“ (Kapitel 6.10) beschrieben.

6.9.17 Einwirkender Prozess: Radioaktiver Zerfall (ELB)

Das FEP beschreibt Kernumwandlungsprozesse von Radionukliden unter Aussendung von Strahlung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Diese Auswirkungen auf das Wirtsgestein haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.9.18 Einwirkender Prozess: Radiolyse

Unter Radiolyse versteht man die Veränderung chemischer Verbindungen durch die Einwirkung ionisierender Strahlung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: Keine

Diese Auswirkungen auf das Wirtsgestein haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.9.19 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (ELB)

Wärme wird von den eingelagerten Endlagergebinden und vom Gebirge abgegeben und in nicht abgeworfenen Teilen des Grubengebäudes über die Wetter in die Atmosphäre transportiert. Das FEP beschreibt die Übertragung von Wärme zwischen den Komponenten.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Wärmetransfer kann Mineralumbildungen, Volumen- und Spannungsänderungen im Gestein auslösen, siehe Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 6.9.22). Die thermischen Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.9.20 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (ELB)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet. Im eingespannten Zustand führt es zur Quelldruckänderung, während im freien Zustand eine Volumenänderung resultiert.

Tonminerale kommen als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Prozesse können die Spannungsverhältnisse und somit die mechanischen und hydraulischen Verhältnisse im Wirtsgestein bzw. auf Störungen und Klüften beeinflussen (Kapitel 6.9.10). Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.9.21 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (ELB)

Die Alteration umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen der ALZ durch den Wetterstrom oder zutretende Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Änderungen der Zusammensetzung und des Volumens von Mineralen bzw. Gesteinen führen zu Spannungsänderungen und Gesteinsumwandlungen, siehe Prozess „Spannungsänderung“ (Kapitel 6.9.10). Konsequenzen werden bei der Komponente „Auflockerungszone“ (Kapitel 6.10) beschrieben.

6.9.22 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (ELB)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird die Volumenzunahme bzw. Volumenabnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen wird. Aufgrund der wärmeentwickelnden Abfälle ist der Prozess in den Einlagerungsbereichen von besonderer Bedeutung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Thermische Volumenveränderungen beeinflussen den Porenraum und das Gefüge des Wirtsgesteins. Dadurch können sich mechanische und hydraulische Eigenschaften, wie die Dichte und die Festigkeit, ändern und aufgelockerte Gesteinsbereiche bilden. Konsequenzen werden bei der Komponente „Auflockerungszone“ (Kapitel 6.10) beschrieben.

Thermomechanisch bedingte Spannungsumlagerungen können zur Reaktivierung oder Bildung von Störungen und Klüften im Wirtsgestein führen, wodurch sich hydraulische Wegsamkeiten im Wirtsgestein öffnen und mit Auffahrungen verbinden können.

Flutung der Grubenbaue: Durch Spannungsänderungen können unerkannte Lösungsreservoire im Wirtsgestein hydraulisch angeschlossen werden und Lösungen in Grubenbaue vordringen.

Bläser: Durch Spannungsänderungen können unerkannte Gasreservoire im Wirtsgestein, die unter hohem Druck stehen, hydraulisch angeschlossen werden und Gase schlagartig austreten.

Freisetzung chemotoxischer Stoffe: Durch Spannungsänderungen können unerkannte Lösungsreservoire im Wirtsgestein hydraulisch angeschlossen werden und chemotoxische Stoffe (KWS) austreten.

Freisetzung radioaktiver Stoffe: Durch Spannungsänderungen können unerkannte Gasreservoire im Wirtsgestein hydraulisch angeschlossen werden und radioaktive Gase – z. B. Radon – austreten.

6.10 Komponente „Auflockerungszone (Einlagerungsbereich)"

Spannungsumlagerungen im Gebirge führen nach einer Auffahrung von Grubenbauen zur Ausbildung eines konturnah begrenzten und geschädigten Gebirgsbereiches, die als Auflockerungszone (ALZ) bezeichnet wird. Die ALZ umfassen gebirgsmechanisch beanspruchte und plastisch verformte Bereiche des Wirtsgesteins in der Kontur der Grubenbaue und sind durch verminderte mechanische Festigkeit bzw. entfestigtes Mineralgefüge und erhöhte hydraulische Leitfähigkeit gekennzeichnet. Die Ausdehnung der ALZ beträgt in der Regel mehrere Meter in Steinsalz und Tongestein sowie wenige Dezimeter in Kristallingestein.

Diese Komponente umfasst nicht die intakte Gesteinsformation, siehe Komponente „Wirtsgestein“ in Kapitel 6.9.

6.10.1 Einwirkender Prozess: Auffahrung von Strecken (ELB)

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Streckenauffahrung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Einwirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase. Streckenauffahrungen beeinflussen aber die Spannungsverhältnisse im Gebirge (Kapitel 6.10.9); es können sich ALZ, Abschalungen und Löser bilden. Außerdem kann es zur Reaktivierung oder Bildung von Störungen und Klüften kom-

men, wodurch sich hydraulische Wegsamkeiten im Wirtsgestein öffnen und mit den Auffahrungen verbinden können.

Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. Im Einlagerungsbereich sind Fluidzutritte ausschließlich dem Wirtsgestein zuzuordnen (Kapitel 6.9).

6.10.2 Einwirkender Prozess: Bohren eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Betriebsabläufe beim Stoßen von Einlagerungsbohrlöchern.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Das Erstellen von Bohrungen bedingt mechanische Belastungen der aufgelockerten Gesteinsbereiche. Über die Auswirkungen der vorlaufenden Erkundungsbohrungen hinaus (Kapitel 6.10.14) gibt es keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.10.3 Einwirkender Prozess: Ausbau von Strecken

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Streckenausbaus, einschließlich des Setzens von Ankern.

Der Streckenausbau stabilisiert das Gebirge und die ALZ.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Einwirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase. Das Einbringen des Ausbaus bedingt jedoch mechanische Beanspruchungen der aufgelockerten Gesteinsbereiche (Kapitel 6.10.9), wodurch sich die ALZ aufweiten. Es kann auch zur Reaktivierung oder zur Neubildung von Störungen und Klüften führen, wodurch sich hydraulische Wegsamkeiten im Wirtsgestein öffnen und mit Auffahrungen verbinden können.

Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. In den Infrastrukturbereichen sind Fluidzutritte ausschließlich dem Wirtsgestein zuzuordnen (Kapitel 6.9).

6.10.4 Einwirkender Prozess: Ausbau eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Bohrlochausbaus.

Der Bohrlochausbau stabilisiert das Gebirge und somit die ALZ.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Das Einbringen des Ausbaus bedingt mechanische Beanspruchungen der aufgelockerten Gesteinsbereiche (Kapitel 6.10.9), wodurch sich diese ALZ ausweiten. Über die Auswirkungen der vorlaufenden Erkundungsbohrungen hinaus (Kapitel 6.9.14) gibt es keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.10.5 Einwirkender Prozess: Einlagerungsbetrieb

Das FEP beschreibt den bestimmungsgemäßen Betrieb beim Transport und bei der Einlagerung von Endlagergebinden sowie beim Verschluss der Einlagerungsstrecken bzw. -bohrlöcher.

Erschütterungen, Luftfeuchte, Gase usw. während des Betriebs können das Wirtsgestein beeinflussen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Einwirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase. Der Betrieb bedingt jedoch mechanische Beanspruchungen der aufgelockerten Gesteinsbereiche resultierend in Entfestigung und Ausweitung von ALZ, siehe Prozess „Spannungsänderung“ (Kapitel 6.10.9).

6.10.6 Einwirkender Prozess: Bewetterung

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Während der Betriebsphase müssen Einlagerungsstrecken bewettert werden. Hierzu sind umfangreiche Einbauten und ggf. zusätzliche Grubenbaue erforderlich.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Bewetterung kann zur Teilentsättigung der ALZ in Tongestein und zur Aufnahme von Feuchtigkeit in der ALZ im Salzgestein führen. Dadurch ändern sich mineralogische, mechanische und hydraulische Eigenschaften in der ALZ (Kapitel 6.10.21). Diese Auswirkungen haben – u. a. durch den Ausbau im Tongestein – während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.10.7 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion

Das FEP beschreibt die (elektro-)chemische Reaktion von Metallen mit den Stoffen der Umgebung bei Gegenwart von wässrigen Lösungen oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

In der ALZ liegt kein Metall vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

In der ALZ können sich mit Stahlliner ausgebaute Bohrungen oder Stahlanker befinden. Der Stahl gehört nicht zur Komponente „Auflockerungszone“. Einwirkungen sind den Ausbausystemen von Bohrungen (Kapitel 6.5 und 6.6) zugeordnet.

6.10.8 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

In ALZ können sich mit Zement verfüllte Bohrungen befinden. Zement in Bohrungen gehört nicht zur Komponente „Auflockerungszone“. Einwirkungen sind der Komponente „Erkundungs- oder Überwachungsbohrung“ (Kapitel 6.16) zugeordnet.

Zement von Injektionen der Risse in den ALZ kann korrodieren und Volumen- und Spannungsänderungen auslösen (Kapitel 6.10.9). Diese Auswirkungen haben für die Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.10.9 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (ELB)

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustandes in Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten sowie durch Änderung des Fluiddrucks.

Die Einwirkung thermomechanischer Beanspruchung wird beim Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 6.10.22) behandelt.

Spannungsänderungen in der ALZ können aus betrieblichen Lasten (z. B. Auffahrung), oder der Geosphäre (z. B. litho- bzw. hydrostatischer Druck, Erdbeben) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch Spannungsumlagerungen erweitern sich die aufgelockerten und entfestigten Gesteinsbereiche. Sie können zur Reaktivierung oder Neubildung von Störungen und Klüften führen.

Abschalungen und Löser: In der Kontur von Grubenbauen führen fortschreitende Entfestigung und Auflockerung von Gesteinsbereichen zu Abschalungen und Lösern.

Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. Im Einlagerungsbereich sind Fluidzutritte ausschließlich dem Wirtsgestein zuzuordnen (Kapitel 6.9).

6.10.10 Einwirkender Prozess: Konvergenz (ELB)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im umgebenden Gebirge einsetzt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Konvergenz bewirkt Spannungsänderungen und -umlagerungen im aufgelockerten Wirtsgestein, siehe Prozess „Spannungsänderung“ (Kapitel 6.9.10). Sie führt zur Erweiterung der Auflockerungen in den beanspruchten Gebirgsbereichen, bzw. falls ein Stützdruck vorhanden ist (z. B. durch Ausbau oder Verfüllung), zum Schließen der ALZ.

6.10.11 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (ELB)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffen aus dem Wirtsgestein.

Durch die vorlaufende Erkundung sind starke Lösungs- und Gaszutritte im ELB nicht zu unterstellen. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Diese Einwirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase. Durch die Fluidzutritte in die ALZ steigt aber der Fluiddruck hinter einem geschlossenen Ausbau. Fluidzutritte in die ALZ verursachen außerdem Alterationsprozesse, siehe die Prozesse „Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen“

und „Alteration der Auflockerungszone“ (Kapitel 6.10.20 und 6.10.21), hydromechanische Spannungen, siehe Prozess „Spannungsänderung“ (Kapitel 6.10.9) und erhöhtes Kriechen von Salzgesteinen, siehe Prozess „Konvergenz“ (Kapitel 6.10.10).

Beim Zutritt brennbarer Gase (CH_4, H_2) ist es aufgrund des geringen Porenvolumens der ALZ unwahrscheinlich, dass ausreichend Sauerstoff für zündfähige Gasgemische vorliegt.

6.10.12 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (ELB)

Das FEP betrifft die Zersetzung von organischen Bestandteilen der Abfälle, Moderatormaterialien, Asphaltdichtungen der Verschlussbauwerke und Kohlenwasserstoffen im Wirtsgestein.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die ALZ enthält geringe Mengen organischer Bestandteile. Die Zersetzung dieser Organika in der ALZ führt u. a. zur Methan-Bildung. Die Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.10.13 E**inwirkender Prozess: Einbringen von Buffer und Versatz (ELB)**

Das Einbringen von Buffer und Versatz erfolgt während des Einlagerungsbetriebes bzw. während des Verschlusses der Grubenräume im Rückbau.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Das Einbringen bedingt mechanische Belastungen der aufgelockerten Gesteinsbereiche, insbesondere wenn dafür der Ausbau entfernt wird (Kapitel 6.10.9). Das bewirkt Spannungsumlagerungen und die Ausweitung der ALZ.

Abschalungen und Löser: In der Kontur von Grubenbauen führen fortschreitende Entfestigung und Auflockerung von Gesteinen zu Abschalungen und Lösern.

6.10.14 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungsbohrung (ELB)

Das FEP beschreibt alle Prozesse beim Stoßen und Verschließen einer Erkundungsbohrung.

Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen stellen potenzielle Wegsamkeiten im Gebirge dar und werden daher qualifiziert verschlossen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Bei unzureichendem Verschluss sind Einwirkungen auf den Betrieb zu besorgen. Die Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen sind potenzielle Zutrittspfade für Fluide. Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. Im Einlagerungsbereich sind Fluidzutritte ausschließlich dem Wirtsgestein zuzuordnen (Kapitel 6.9).

Das Errichten bedingt mechanische Belastungen der aufgelockerten Gesteinsbereiche. Nicht anforderungsgerecht verfüllte Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen sind Schwächezonen im Gebirge. Spannungsumlagerungen erweitern diese aufgelockerten und entfestigten Gesteinsbereiche (Kapitel 6.10.9).

6.10.15 Einwirkender Prozess: Errichten eines Verschlussbauwerkes (ELB)

Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und Widerlager eines Verschlussbauwerkes.

Erschütterungen können die ALZ beeinflussen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Das Errichten bedingt gebirgsmechanische Beanspruchungen aufgelockerter Gesteinsbereiche, vor allem wenn der Ausbau entfernt wird (Kapitel 6.10.9). Das bewirkt Spannungsumlagerungen und die Ausweitung der ALZ.

Abschalungen und Löser: In der Kontur von Grubenbauen führen fortschreitende Entfestigung und Auflockerung zu Abschalungen und Lösern.

6.10.16 Einwirkender Prozess: Errichten des Verschlusses einer Einlagerungsbohrung

Vertikale Einlagerungsbohrlöcher werden durch einen Bohrlochverschluss abgedichtet. Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und der Widerlager.

Der Bohrlochverschluss ist oberhalb des Ausbausystems des Bohrlochs angeordnet.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Das Errichten der Verschlüsse bedingt gebirgsmmechanische Beanspruchungen der aufgelockerten Gesteinsbereiche (Kapitel 6.10.9). Diese Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.10.17 Einwirkender Prozess: Radioaktiver Zerfall (ELB)

Das FEP beschreibt Kernumwandlungsprozesse von Radionukliden unter Aussendung von Strahlung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Diese Auswirkungen auf die ALZ haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.10.18 Einwirkender Prozess: Radiolyse

Unter Radiolyse versteht man die Veränderung chemischer Verbindungen durch die Einwirkung ionisierender Strahlung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Diese Auswirkungen auf die ALZ haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.10.19 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (ELB)

Wärme wird von den eingelagerten Endlagergebinden und vom Gebirge abgegeben und in nicht abgeworfenen Teilen des Grubengebäudes über die Wetter in die Atmosphäre transportiert. Das FEP beschreibt die Übertragung von Wärme zwischen den Komponenten.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Wärmetransfer kann Mineralumbildungen, Volumen- und Spannungsänderungen in den ALZ auslösen, siehe Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 6.10.22) und „Alteration der Auflockerungszone“ (Kapitel 6.10.21). Die Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.10.20 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (ELB)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet. Im eingespannten Zustand führt es zur Quelldruckänderung, während im freien Zustand eine Volumenänderung resultiert.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Prozesse können die mechanischen und hydraulischen Verhältnisse in den ALZ beeinflussen sowie Volumen- und Spannungsänderungen auslösen (Kapitel 6.10.9). Spannungsumlagerungen bewirken eine Ausweitung der ALZ. Da im Tongestein alle Grubenbaue ausgebaut werden, haben die Auswirkungen keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.10.21 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (ELB)

Die Alteration umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen der ALZ durch den Wetterstrom oder zutretende Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der Prozess kann die mechanischen und hydraulischen Verhältnisse in der ALZ beeinflussen. Änderungen der Zusammensetzung und des Volumens von Mineralen bzw. Gesteinen führen zu Spannungsänderungen (Kapitel 6.10.9) und zu Gesteinsumwandlungen (Kapitel 6.10.20). Spannungsumlagerungen bewirken eine Ausweitung der ALZ.

Abschalungen und Löser: In der Kontur von Grubenbauen führen fortschreitende Entfestigung und Auflockerung zu Abschalungen und Lösern.

6.10.22 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (ELB)

Aufgrund der wärmeentwickelnden Abfälle ist der Prozess in Einlagerungsbereichen von besonderer Bedeutung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Thermische Volumenveränderung beeinflusst den Porenraum und das Gefüge der ALZ. Dadurch können sich mechanische und hydraulische Eigenschaften, wie die Festigkeit, verändern und sich aufgelockerte und entfestigte Gesteinsbereiche ausweiten. Außerdem kann es zu der Reaktivierung oder Bildung von Störungen und Klüften kommen, wodurch sich hydraulische Wegsamkeiten im Wirtsgestein öffnen und mit Auffahrungen verbinden können. Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen Im Einlagerungsbereich sind Fluidzutritte ausschließlich dem Wirtsgestein zuzuordnen (Kapitel 6.9).

Abschalungen und Löser: In der Kontur von Grubenbauen führt fortschreitende Desintegrierung der ALZ zu Abschalungen und Lösern.

6.11 Komponente „Lösungen (Einlagerungsbereich)"

In den Einlagerungsbereichen (ELB) können Lösungen vorkommen, welche aus dem Gebirge zutreten, aus dem Wetterstrom stammen (Kondenswasser) und/oder mit Baustoffen bzw. Betriebsstoffen eingebracht werden.

Geringe Lösungsmengen werden in den ELB toleriert, wenn sie den bestimmungsgemäßem Betrieb nicht beeinträchtigen. Es wird unterstellt, dass zutretende Lösung gefasst und beseitigt wird. Es verbleibt ggf. Lösung in den ALZ von ausgebauten Grubenbauen hinter einem geschlossenen Ausbau.

Lösungen können ein Transportmedium für die Ausbreitung von radioaktiven und chemotoxischen Stoffen sein.

6.11.1 Einwirkender Prozess: Auffahrung von Strecken (ELB)

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Streckenauffahrung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Durch Auffahrungen werden hydraulische Eigenschaften des Gebirges in der Umgebung des Bergwerks verändert und ggf. Fließwege zwischen Grube und Reservoiren geöffnet. Durch die vorlaufende Erkundung werden in Einlagerungsbereichen keine großen Lösungsreservoire angefahren.

Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen Im Einlagerungsbereich sind Fluidzutritte ausschließlich dem Wirtsgestein zuzuordnen (Kapitel 6.9).

6.11.2 Einwirkender Prozess: Bohren eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Betriebsabläufe beim Bohren von Einlagerungsbohrlöchern.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Durch die vorlaufende Erkundung werden beim Stoßen eines Einlagerungsbohrlochs keine großen Lösungsreservoire angefahren.

Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen Im Einlagerungsbereich sind Fluidzutritte ausschließlich dem Wirtsgestein zuzuordnen (Kapitel 6.9).

6.11.3 Einwirkender Prozess: Ausbau von Strecken

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Streckenausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Mit den Baustoffen werden nur geringe Mengen Lösung in die Strecken eingebracht. Geschlossener Ausbau behindert den Lösungsabfluss aus der ALZ in die Grubenbaue. Die Auswirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Es gibt jedoch Wechselwirkungen zwischen Ausbau und Lösung, die die Lösungsmenge und -zusammensetzung verändern, wie z. B. die Prozesse „Metallkorrosion“ (Kapitel 6.11.7), „Zementkorrosion“ (Kapitel 6.11.8) und „Alteration der Auflockerungszone“ (Kapitel 6.11.21).

6.11.4 Einwirkender Prozess: Ausbau eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Bohrlochausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Mit den Baustoffen für den Bohrlochausbau werden nur geringe Mengen Lösung in die Bohrlöcher eingebracht. Geschlossener Ausbau behindert den Lösungsabfluss aus der

ALZ in die Bohrlöcher. Die Auswirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.11.5 Einwirkender Prozess: Einlagerungsbetrieb

Das FEP beschreibt den bestimmungsgemäßen Betrieb beim Transport und bei der Einlagerung von Endlagergebinden sowie beim Verschluss von Einlagerungsstrecken bzw. -bohrlöchern.

Erschütterungen, Luftfeuchte, Gase usw. während des Betriebs können bereits vorhandene Einlagerungsbereiche beeinflussen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Durch den Betrieb werden nur geringe Mengen Lösung in Grubenbaue eingebracht (z. B. Baustoffe, Bewetterung, Anfeuchten der Fahrbahn zur Staubreduzierung). Die Auswirkungen haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.11.6 Einwirkender Prozess: Bewetterung

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Während der Betriebsphase müssen die Grubenbaue bewettert werden. Hierzu sind Einbauten und ggf. zusätzliche Grubenbaue erforderlich.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Lösungsmenge und -zusammensetzung werden von Verdunstung und Kondensation beeinflusst: Durch die Bewetterung wird Lösung (Luftfeuchte) in Einlagerungsbereiche eingebracht und ausgetragen. Wetter nehmen sowohl kondensierte Luftfeuchte als auch Gebirgs- oder Baustofffeuchte durch Verdunstung auf. Im Tongestein kann es zum Austrocknen der ALZ kommen. Dies wird durch den Ausbau der Grubenbaue im Tongestein stark eingeschränkt und hat während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Eine veränderte Lösungsmenge und -zusammensetzung haben jedoch Einfluss auf chemische Prozesse, wie z. B. die Prozesse „Metallkorrosion“ (Kapitel 6.11.7), „Zementkorrosion“ (Kapitel 6.11.8) und „Alteration der Auflockerungszone“ (Kapitel 6.11.21).

6.11.7 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion

Das FEP beschreibt die (elektro-)chemischen Reaktionen von Metallen mit den Stoffen der Umgebung bei Gegenwart von wässrigen Lösungen oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Korrosionsprozesse verändern Lösungszusammensetzung und Lösungsmenge im Grubenbau. Die Auswirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Eine veränderte Lösungsmenge und -zusammensetzung haben jedoch Einfluss auf chemische Prozesse, wie z. B. die Prozesse „Zementkorrosion“ (Kapitel 6.11.8) und „Alteration der Auflockerungszone“ (Kapitel 6.11.21).

6.11.8 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Baustoffen mit Zementphasen durch Kontakt mit Lösung.

In Einlagerungsbereichen können Betonkomponenten korrodieren. Durch die Änderung der Hydrochemie kann die Korrosionsbeständigkeit des Betons beeinflusst werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Korrosionsprozesse verändern Lösungszusammensetzung und Lösungsmenge im Grubenbau. Die Auswirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Eine veränderte Lösungsmenge und -zusammensetzung haben jedoch Einfluss auf chemische Prozesse, wie z. B. die Prozesse „Metallkorrosion“ (Kapitel 6.11.7), „Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen“ (Kapitel 6.11.20) und „Alteration der Auflockerungszone“ (Kapitel 6.11.21).

6.11.9 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (ELB)

Das FEP beschreibt u. a. Änderungen des Fluiddrucks in Lösungen und Gasen.

Auswirkungen auf Gase werden bei der Komponente „Gase (Einlagerungsbereich)“ beschrieben (Kapitel 6.13).

Die Fluiddruckänderungen können aus chemischen Prozessen (z. B. Quellen von Baustoffen, Gasbildung) oder aus der Geosphäre (z. B. litho- bzw. hydrostatischer Druck, Erdbeben) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Spannungsänderungen können den Fluiddruck beeinflussen. Die Auswirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.11.10 Einwirkender Prozess: Konvergenz (ELB)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im umgebenden Gebirge einsetzt.

Konvergenz führt zur Abnahme des Hohlraum- und Porenvolumens. Dadurch können Lösungen aus abgeworfenen Grubenbauen ausgepresst werden. Verschlussbauwerke behindern die Ausbreitung dieser Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Veränderungen des Fluiddrucks oder Lösungsbewegungen allein haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.11.11 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (ELB)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffen, in einen Einlagerungsbereich.

Durch vorlaufende Erkundung sind starke Lösungs- und Gaszutritte in Einlagerungsbereichen nicht zu unterstellen. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Fluidzutritte verändern Lösungszusammensetzung und Lösungsmenge in den Grubenbauen. Die Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase. Eine veränderte Lösungsmenge und -zusammensetzung beeinflusst jedoch die chemischen Prozesse, wie z. B. die Prozesse „Metallkorrosion“ (Kapitel 6.11.7) und „Alteration der Auflockerungszone“ (Kapitel 6.11.21).

Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. Im Einlagerungsbereich sind Fluidzutritte ausschließlich dem Wirtsgestein zuzuordnen (Kapitel 6.9).

6.11.12 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (ELB)

Das FEP betrifft die Zersetzung von organischen Bestandteilen der Abfälle, Moderatormaterialien, Asphaltdichtungen der Verschlussbauwerke und Kohlenwasserstoffen im Wirtsgestein.

Auswirkungen auf Gase werden bei der Komponente „Gase (Einlagerungsbereich)“ beschrieben (Kapitel 6.13).

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Degradationsprozesse im Kontakt mit Lösung verändern Lösungszusammensetzung und Lösungsmenge im Grubenbau. Die Prozesse haben in der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Eine veränderte Lösungsmenge und Lösungszusammensetzung beeinflusst jedoch die chemischen Prozesse, wie z. B. die Prozesse „Metallkorrosion“ (Kapitel 6.11.7) und „Alteration der Auflockerungszone“ (Kapitel 6.11.21).

6.11.13 Einwirkender Prozess: Einbringen von Buffer und Versatz (ELB)

Das Einbringen von Buffer und Versatz erfolgt während des Einlagerungsbetriebs bzw. während des Verschlusses der Grubenbaue im Rückbau.

Durch das Verfüllen mit Buffer und Versatz wird einerseits Lösung in die Grubenbaue eingebracht. Lösungsmengen werden durch die Auslegung begrenzt. Andererseits kann Versatz Lösung aufnehmen, z. B. durch Speichern im Porenraum oder durch Einbau in Mineralstrukturen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch das Einbringen von Versatz und Buffer können sich Lösungsmenge und Lösungszusammensetzung verändern. Die Prozesse haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Eine veränderte Lösungsmenge und Lösungszusammensetzung beeinflusst jedoch chemische Prozesse, wie z. B. die Prozesse „Metallkorrosion“ (Kapitel 6.11.7) und „Alteration der Auflockerungszone“ (Kapitel 6.11.21).

6.11.14 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungsbohrung (ELB)

Das FEP umfasst die Prozesse beim Stoßen und Verschließen einer Erkundungsbohrung.

Erkundungsbohrungen bilden Wegsamkeiten. Durch das Verfüllen und Verschließen werden diese abgedichtet.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Beim Erstellen von Bohrungen kann es zu Fluidzutritten kommen. Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. In Einlagerungsbereichen sind Fluidzutritte ausschließlich dem Wirtsgestein zuzuordnen (Kapitel 6.9). Durch unzureichenden Verschluss sind Einwirkungen auf den Betrieb des Endlagerbergwerkes zu besorgen. Auswirkungen eines fehlerhaften Verschlusses werden bei den Komponenten „Erkundungsbohrung“ und „Bohrlochverschluss“ diskutiert (Kapitel 6.16 und Kapitel 6.17).

6.11.15 Einwirkender Prozess: Errichten eines Verschlussbauwerkes (ELB)

Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und Widerlager eines Verschlussbauwerkes.

Verschlussbauwerke behindern die Ausbreitung von Lösungen. Sie werden in einem Einlagerungsfeld erst kurz vor dessen Abwerfen eingebaut.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Verschlussbauwerke behindern Lösungsbewegungen, z. B. aus bereits abgeworfenen Grubenfeldern. Bei einem unzureichenden Verschluss kann Lösung aus einem Einlagerungsfeld ins Grubengebäude abfließen. Die Auswirkungen eines unzureichenden Verschlusses werden bei der Komponente „Verschlussbauwerke“ beschrieben (Kapitel 6.18).

6.11.16 Einwirkender Prozess: Errichten des Verschlusses einer Einlagerungsbohrung

Vertikale Einlagerungsbohrlöcher werden durch einen Bohrlochverschluss abgedichtet. Das FEP umfasst das Einbauen der Dichtelemente und Widerlager.

Der Bohrlochverschluss ist oberhalb des Ausbaus des Bohrlochs angeordnet.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Bohrlochverschlüsse dichten die Einlagerungsbohrlöcher gegen Fluidbewegungen ab und bestimmen die Lösungsflüsse und Lösungsmengen im Bohrloch. Durch unzureichenden Verschluss kann es zu Lösungszuflüssen in das Einlagerungsbohrloch kommen. Die Auswirkungen eines unzureichenden bzw. fehlerhaften Verschlusses werden bei der Komponente „Bohrlochverschluss“ beschrieben (Kapitel 6.17).

6.11.17 Einwirkender Prozess: Radioaktiver Zerfall (ELB)

Das FEP beschreibt Kernumwandlungsprozesse von Radionukliden unter Aussendung von Strahlung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Auswirkungen des Prozesses auf die Lösungen haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.11.18 Einwirkender Prozess: Radiolyse

Unter Radiolyse versteht man die Veränderung chemischer Verbindungen durch die Einwirkung ionisierender Strahlung.

In einem Einlagerungsbereich kann die Radiolyse von Wasser zur Gasbildung führen. Auswirkungen auf das Gas werden bei der Komponente „Gase (ELB)“ beschrieben (Kapitel 6.13).

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Im Nahfeld der Endlagerbehälter können Lösungen durch die Radiolyse zersetzt und Wasserstoffgas gebildet werden. Es verändern sich Lösungsmenge und Fluiddruck. Die Auswirkungen auf die Lösungen im Einlagerungsbereich haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.11.19 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (ELB)

Wärme wird von den eingelagerten Endlagergebinden und vom Gebirge abgegeben und in nicht abgeworfenen Teilen des Grubengebäudes über Wetter in die Atmosphäre transportiert.

Der Wärmestrom verändert die Temperatur der Lösungen und somit die Bedingungen chemischer und thermomechanischer Prozesse. Im Nahfeld heißer Endlagerbehälter verändern sich u. a. Aggregatzustand, Löslichkeiten, Viskositäten und Fluiddruck der Lösungen.

Auswirkungen auf das Gas werden bei der Komponente „Gase (Einlagerungsbereich)“ beschrieben (Kapitel 6.13).

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Im Nahfeld der heißen Endlagerbehälter kann Lösung verdampfen. Dies hat Auswirkungen auf Lösungsmenge und Lösungszusammensetzung sowie auf den Fluiddruck. Die Auswirkungen auf Lösungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.11.20 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (ELB)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet. Im eingespannten Zustand führt es zur Quelldruckänderung, während im freien Zustand eine Volumenänderung resultiert.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Durch die Aufnahme (Quellen) bzw. die Abgabe (Schrumpfen) von Wasser ändern sich die freien Wassermengen und der Fluiddruck. Die Auswirkungen auf die Komponente „Lösungen“ haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.11.21 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (ELB)

Die Alteration umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen in der ALZ durch Wetter oder zutretende Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch Alterationsprozesse können sich die Hydrochemie und bei Volumenänderungen der Fluiddruck ändern. Die Auswirkungen haben in der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Veränderungen der Hydrochemie wirken sich jedoch auf chemische Prozesse aus, wie z. B. die Prozesse „Metallkorrosion“ (Kapitel 6.11.7), „Zementkorrosion“ (Kapitel 6.11.8) und „Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen“ (Kapitel 6.11.20).

6.11.22 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (ELB)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird die Volumenzunahme bzw. Volumenabnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen wird.

Aufgrund der wärmeentwickelnden Abfälle ist der Prozess in Einlagerungsbereichen von besonderer Bedeutung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Thermische Volumenveränderungen können Änderungen des Fluiddrucks bewirken. Die Einwirkungen auf Lösungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.12 Komponente „Flüssige Kohlenwasserstoffe (Einlagerungsbereich)"

In Einlagerungsbereichen können flüssige Kohlenwasserstoffe (KWS) vorhanden sein, die aus dem Gebirge zutreten, oder Betriebsmittel (Kraft- und Schmierstoffe) darstellen. Das Wirtsgestein soll keine größeren Kohlenwasserstoffvorkommen enthalten und eine Freisetzung von Betriebsstoffen soll vermieden werden.

Der bestimmungsgemäße Betrieb eines Endlagerbergwerkes toleriert geringe Zutrittsraten, die den Betrieb nicht beeinträchtigen. Es wird unterstellt, dass die zutretenden flüssigen KWS vollumfänglich gefasst und beseitigt werden.

Flüssige KWS können ein Transportmedium für die Ausbreitung von radioaktiven und chemotoxischen Stoffen sein.

Flüssige Kohlenwasserstoffe bilden eine Brandlast. Die daraus ggf. resultierenden EVI werden bei der Komponente „Wirtsgestein“ (Kapitel 6.9) abgeleitet.

6.12.1 Einwirkender Prozess: Auffahrung von Strecken (ELB)

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Streckenauffahrung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Durch die vorlaufende Erkundung werden in den Einlagerungsbereichen keine großen Reservoire von flüssigen KWS angefahren.

6.12.2 Einwirkender Prozess: Bohren eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Betriebsabläufe beim Stoßen von Einlagerungsbohrlöchern.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Durch die vorlaufende Erkundung werden beim Stoßen eines Einlagerungsbohrlochs in Einlagerungsbereichen keine großen Reservoire mit flüssigen KWS angefahren.

6.12.3 Einwirkender Prozess: Ausbau von Strecken

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Streckenausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Durch die vorlaufende Erkundung werden keine großen Reservoire mit flüssigen KWS in Einlagerungsbereichen angebohrt. Dadurch sammeln sich höchstens sehr geringe Mengen KWS in der ALZ, ohne dass sich der Fluiddruck in dieser signifikant erhöht, denn es bestehen keine Anforderungen an die hydraulische Dichtheit des Ausbaus. Die Auswirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.12.4 Einwirkender Prozess: Ausbau eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Bohrlochausbaus.

Nicht perforierte Stahlliner (z. B. als Außenliner im Salz oder als Innenliner im Ton) können den Zufluss von flüssigen KWS an den Endlagerbehälter verhindern.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Durch die vorlaufende Erkundung werden keine großen Reservoire mit flüssigen KWS in Einlagerungsbereichen angebohrt. Dadurch sammeln sich höchstens sehr geringe Mengen an flüssigem KWS in der ALZ. Die Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.12.5 Einwirkender Prozess: Einlagerungsbetrieb

Das FEP beschreibt den bestimmungsgemäßen Betrieb beim Transport und bei der Einlagerung von Endlagergebinden sowie beim Verschluss von Einlagerungsstrecken bzw. -bohrlöchern.

Erschütterungen, Luftfeuchte, Betriebsstoffe, Gase usw. während des Betriebs können bereits vorhandene Einlagerungsbereiche beeinflussen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch den Einlagerungsbetrieb werden geringe Mengen Schmier- und Betriebsstoffe in Einlagerungsbereiche eingebracht. Kontaminationen werden weitgehend vermieden oder beseitigt. Durch defekte elektrische Anlagen und Maschinen können Zündfunken entstehen und KWS entzünden.

Feuer: Durch defekte elektrische Einrichtungen bzw. heiße Maschinen können sich vorhandene KWS entzünden.

Explosion: Durch defekte elektrische Einrichtungen bzw. heiße Maschinen können sich kritische KWS-Sauerstoff-Gemische entzünden und explodieren.

6.12.6 Einwirkender Prozess: Bewetterung

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Während der Betriebsphase müssen Einlagerungsstrecken bewettert werden. Hierzu sind Einbauten und ggf. zusätzliche Grubenbaue erforderlich.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Temperaturunterschiede in den Einlagerungsbereichen bewirken das Verdunsten oder Kondensieren von flüchtigen KWS. Flüchtige Bestandteile der KWS werden durch die Bewetterung abgeführt. Die Auswirkungen auf flüssige KWS haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.12.7 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion

Das FEP beschreibt die (elektro-)chemische Reaktion von Metallen mit den Stoffen der Umgebung bei Gegenwart von wässrigen Lösungen oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Korrosionsprozesse verändern Zusammensetzung und Menge von Fluiden. Die Auswirkungen auf die flüssigen KWS haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.12.8 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Baustoffen mit Zementphasen durch Kontakt mit Lösung.

In Einlagerungsbereichen können Betonkomponenten korrodieren. Durch die Änderung der Hydrochemie kann die Korrosionsbeständigkeit des Betons beeinflusst werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Korrosionsprozesse verändern die Zusammensetzung und Menge von Fluiden. Diese Auswirkungen auf die flüssigen KWS haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.12.9 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (ELB)

Das FEP beschreibt u. a. Änderungen des Fluiddrucks in Lösungen und Gasen.

Die Auswirkungen des Fluiddrucks auf das Gas werden bei der Komponente „Gase (Einlagerungsbereich)“ beschrieben (Kapitel 6.13).

Die Fluiddruckänderungen können aus chemischen Prozessen (z. B. Quellen von Baustoffen, Gasbildung) oder aus der Geosphäre (z. B. litho- bzw. hydrostatischer Druck, Erdbeben) resultieren. Durch Fluiddruckänderung kann die Funktion von Verschlussbauwerken und Ausbaukomponenten beeinflusst werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Veränderung des Fluiddrucks von KWS hat keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.12.10 Einwirkender Prozess: Konvergenz (ELB)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im Gebirge einsetzt.

Konvergenz führt zur Abnahme des Hohlraum- und Porenvolumens und zur Lösungsverdrängung. Durch Konvergenz können die geringen Mengen flüssiger KWS bewegt werden. Verschlussbauwerke behindern die Ausbreitung der KWS zwischen Einlagerungsfeldern.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Veränderung des Fluiddrucks von KWS oder die Bewegung flüssiger KWS allein haben keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.12.11 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (ELB)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffen, in einen Einlagerungsbereich.

Durch die vorlaufende Erkundung sind starke Zutritte von KWS in Einlagerungsbereiche nicht zu unterstellen. Geringe KWS-Zutritte, die den Betrieb nicht beeinträchtigen, werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Fluidzutritte verändern die Zusammensetzung und Menge der KWS in den Grubenbauen. Die Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase. Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 der Komponente zu-

geordnet, der sie entstammen. Im Einlagerungsbereich sind Fluidzutritte ausschließlich dem Wirtsgestein zuzuordnen (Kapitel 6.9).

6.12.12 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (ELB)

Das FEP beschreibt die Zersetzung von organischen Bestandteilen der Abfälle, Moderatormaterialien, Asphaltdichtungen der Verschlussbauwerke und Kohlenwasserstoffen im Wirtsgestein.

Durch die mikrobielle Zersetzung langkettiger KWS erhöht sich langfristig der Anteil kurzkettiger, gasförmiger KWS. Dabei kann Methan entstehen. Durch die Zersetzung von Organika (Asphalt) kann die Funktion von Verschlussbauwerken beeinflusst werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Degradationsprozesse verändern langfristig die Zusammensetzung und Mengen der flüssigen KWS. Die Degradation des Asphalts von Verschlussbauwerken erfolgt über lange Zeiträume. Deshalb haben Degradationsprozesse keine sicherheitstechnische Bedeutung für die flüssigen KWS in der Betriebsphase.

6.12.13 Einwirkender Prozess: Einbringen von Buffer und Versatz (ELB)

Das Einbringen von Buffer und Versatz erfolgt während des Einlagerungsbetriebes bzw. während der Verschließung der Grubenräume im Rückbau.

Durch das Einbringen von Buffer und Versatz werden keine KWS in die Grubenbaue eingebracht. Der Versatz kann KWS aufnehmen, z. B. durch Speichern im Porenraum.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Durch den Versatz bzw. Buffer können sich die migrationsfähigen Mengen an KWS verändern. Diese Veränderung hat keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.12.14 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungsbohrung (ELB)

Das FEP umfasst die Prozesse beim Stoßen und Verschließen einer Erkundungsbohrung.

Erkundungsbohrungen bilden beim Erstellen Wegsamkeiten. Durch das Verfüllen und Verschließen der Bohrungen werden diese abgedichtet.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Beim Erstellen von Bohrungen kann es zu Fluidzutritten in die Einlagerungsbereiche kommen. Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. Im Einlagerungsbereich sind Fluidzutritte ausschließlich dem Wirtsgestein zuzuordnen. Auswirkungen eines unzureichenden Verschlusses der Bohrung werden bei den Komponenten „Erkundungsbohrung“ und „Bohrlochverschluss“ (Kapitel 6.16 und Kapitel 6.17) diskutiert.

Feuer: Durch defekte elektrische Einrichtungen bzw. heiße Maschinen können sich vorhandene KWS entzünden.

Explosion: Durch defekte elektrische Einrichtungen bzw. heiße Maschinen können sich kritische KWS-Sauerstoff-Gemische entzünden und explodieren.

6.12.15 Einwirkender Prozess: Errichten eines Verschlussbauwerkes (ELB)

Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und Widerlager eines Verschlussbauwerkes.

Verschlussbauwerke behindern die Ausbreitung von KWS. Sie werden erst zum Abschluss des Abwerfens eines Einlagerungsfeldes eingebaut.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Verschlussbauwerke behindern Fluidbewegungen, z. B. aus abgeworfenen Grubenfeldern. Bei einem unzureichenden Verschluss können KWS aus einem Einlagerungsfeld in das Grubengebäude abfließen. Die Auswirkungen eines unzureichenden Verschlusses werden bei der Komponente „Verschlussbauwerke“ beschrieben (Kapitel 6.18).

6.12.16 Einwirkender Prozess: Errichten des Verschlusses einer Einlagerungsbohrung

Vertikale Einlagerungsbohrlöcher werden durch einen Bohrlochverschluss abgedichtet. Das FEP beschreibt das Einbauen der Dichtelemente und Widerlager.

Der Bohrlochverschluss ist oberhalb des Ausbaus des Bohrlochs angeordnet.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Bohrlochverschlüsse dichten die Einlagerungsbohrlöcher gegen Fluidbewegungen ab und bestimmen daher die Ausbreitung der KWS im Bohrloch und dessen Umgebung. Durch unzureichenden Verschluss können flüssige KWS in das Einlagerungsbohrloch vordringen. Die Auswirkungen eines unzureichenden bzw. fehlerhaften Verschlusses werden bei der Komponente „Bohrlochverschluss“ (Kapitel 6.17) diskutiert.

6.12.17 Einwirkender Prozess: Radioaktiver Zerfall (ELB)

Das FEP beschreibt Kernumwandlungsprozesse von Radionukliden unter Aussendung von Strahlung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Auswirkungen auf die flüssigen KWS haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.12.18 Einwirkender Prozess: Radiolyse

Unter Radiolyse versteht man die Veränderung chemischer Verbindungen durch die Einwirkung ionisierender Strahlung. Im Einlagerungsbereich kann die Radiolyse von Kohlenwasserstoffen zur Gasbildung führen.

Auswirkungen auf das Gas werden bei der Komponente „Gase (Einlagerungsbereich)“ beschrieben (Kapitel 6.13).

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Im Nahfeld der Endlagerbehälter können Kohlenwasserstoffe durch Radiolyse zersetzt und kurzkettige KWS (vor allem CH_4), organische Säuren und CO_2 gebildet werden. Es verändern sich Lösungsmenge und Fluiddruck. Diese Auswirkungen auf die flüssigen Kohlenwasserstoffe im Einlagerungsbereich haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.12.19 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (Einlagerungsbereich)

Wärme wird von den eingelagerten Endlagergebinden, von Maschinen und vom Gebirge abgegeben und in nicht abgeworfenen Teilen des Grubengebäudes über Wetter in die Atmosphäre transportiert.

Der Wärmestrom verändert die Temperatur der flüssigen KWS und somit die Bedingungen chemischer und thermomechanischer Prozesse. Im Nahfeld heißer Endlagerbehälter verändern sich u. a. Aggregatzustand, Löslichkeiten, Viskositäten und Fluiddruck der Kohlenwasserstoffe.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Im Nahfeld der heißen Endlagerbehälter und von Maschinen können KWS verdampfen. Dies hat Auswirkungen auf die Menge und Zusammensetzung flüssiger KWS sowie auf den Fluiddruck. Bei Erreichen der Zündtemperatur kann ein Brand verursacht werden, siehe Prozess „Einlagerungsbetrieb“ (Kapitel 6.12.5). Die Auswirkungen auf flüssige KWS haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

Auswirkungen auf das Gas werden bei der Komponente „Gase (Einlagerungsbereich)“ beschrieben (Kapitel 6.13).

6.12.20 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (ELB)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet. Im eingespannten Zustand eines Tonkörpers führt es zunächst zur Quelldruckänderung, während im freien Zustand in einer Volumenänderung resultiert.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor. Beim Quellen erhöht sich das Volumen des Festkörpers oder es wird ein Quelldruck auf die Umgebung ausgeübt. Beim Schrumpfen verringert sich das Volumen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Durch die Aufnahme (Quellen) bzw. die Abgabe (Schrumpfen) von Wasser ändern sich die Menge flüssiger KWS und der Fluiddruck. Diese Auswirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.12.21 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (ELB)

Die Alteration umfasst chemisch-mineralogische Umwandlungen der ALZ durch den Wetterstrom oder zutretende Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Durch Alterationsprozesse können sich die Hydrochemie und bei Volumenänderungen der Fluiddruck ändern. Die Auswirkungen auf KWS haben in der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.12.22 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (ELB)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird die Volumenzunahme bzw. Volumenabnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen wird.

Aufgrund der wärmeentwickelnden Abfälle ist der Prozess in Einlagerungsbereichen von besonderer Bedeutung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Thermische Volumenveränderungen können Änderungen des Fluiddrucks bewirken. Die Einwirkungen auf flüssige KWS haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.13 Komponente „Gase (Einlagerungsbereich)"

Das FEP umfasst Grubenwetter, Abgase von Fahrzeugen, Gase aus Metallkorrosion und Zersetzung von Organika sowie zutretende Gase aus dem Wirtsgestein.

Gaszutritte sind nicht auszuschließen, insbesondere nicht in den Wirtsgesteinen Steinsalz und Ton. Durch vorlaufende Erkundung wird sichergestellt, dass das Wirtsgestein keine großen Gasreservoire enthält.

Gase sind ein Transportmedium für die Ausbreitung von radioaktiven und chemotoxischen Stoffen.

Gase bilden eine Brandlast. Die daraus ggf. resultierenden EVI werden bei der Komponente „Wirtsgestein“ (Kapitel 6.9) abgeleitet.

6.13.1 Einwirkender Prozess: Auffahrung von Strecken (ELB)

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Streckenauffahrung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Durch die vorlaufende Erkundung werden in den Einlagerungsbereichen nur kleine Gasreservoire angefahren. Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. Im Einlagerungsbereich sind Fluidzutritte ausschließlich dem Wirtsgestein zuzuordnen (Kapitel 6.9).

6.13.2 Einwirkender Prozess: Bohren eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Betriebsabläufe beim Stoßen von Einlagerungsbohrlöchern.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Durch die vorlaufende Erkundung werden beim Stoßen eines Einlagerungsbohrlochs in Einlagerungsbereichen keine großen Gasreservoire angebohrt. Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. Im Einlagerungsbereich sind Fluidzutritte ausschließlich dem Wirtsgestein zuzuordnen (Kapitel 6.9).

6.13.3 Einwirkender Prozess: Ausbau von Strecken

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Streckenausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Durch die vorlaufende Erkundung werden keine großen Gasreservoire in Einlagerungsbereichen angebohrt. Dadurch sammeln sich höchstens sehr geringe Gasmengen in der ALZ, ohne dass sich der Fluiddruck in dieser signifikant erhöht, denn es bestehen keine Anforderungen an die Gasdichtheit des Ausbaus. Die Auswirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.13.4 Einwirkender Prozess: Ausbau eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Bohrlochausbaus.

Nicht perforierte Stahlliner (z. B. als Außenliner im Salz oder als Innenliner im Ton) können den Zutritt von Gasen zum Endlagerbehälter verhindern bzw. verzögern.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Durch die vorlaufende Erkundung werden keine großen Gasreservoire in Einlagerungsbereichen angebohrt. Dadurch sammeln sich höchstens sehr geringe Gasmengen in der ALZ, ohne dass sich der Fluiddruck in dieser signifikant erhöht, denn es bestehen keine Anforderungen an die Gasdichtheit des Ausbaus. Die Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.13.5 Einwirkender Prozess: Einlagerungsbetrieb

Das FEP beschreibt den bestimmungsgemäßen Betrieb beim Transport und bei der Einlagerung von Endlagergebinden sowie beim Verschluss von Einlagerungsstrecken bzw. -bohrlöchern.

Erschütterungen, Luftfeuchte, Betriebsstoffe, Gase usw. während des Betriebs können bereits vorhandene Einlagerungsbereiche beeinflussen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Förderbetrieb und Verkehr tragen Gase in die ELB ein, durch Metallkorrosion werden Gase gebildet. Menge und Zusammensetzung der Gasphase variieren örtlich und zeitlich. Durch elektrische Anlagen und Maschinen können Zündfunken entstehen und vorhandene brennbare Gase entzündet werden.

Feuer: Durch defekte elektrische Einrichtungen bzw. heiße Maschinen können sich brennbare Gase entzünden.

Explosion: Durch defekte elektrische Einrichtungen bzw. heiße Maschinen können explosive Gasgemische gezündet werden.

6.13.6 Einwirkender Prozess: Bewetterung

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Während der Betriebsphase müssen Einlagerungsstrecken bewettert werden. Hierzu sind umfangreiche Einbauten und ggf. zusätzliche Grubenbaue erforderlich.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Durch die Bewetterung gelangt Luft (Sauerstoff) in die Einlagerungsbereiche. Gebildete Gase und volatile Radionuklide werden durch die Wetter verdünnt und abgeführt, so dass u. a. die Bildung zündfähiger Gasgemische unwahrscheinlich ist. Sollte die Bewetterung eingeschränkt sein oder ausfallen, können sich kritische Gasgemische bilden. Die Auswirkungen auf Gase haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.13.7 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion

Das FEP beschreibt die (elektro-)chemische Reaktion von Metallen mit den Stoffen der Umgebung bei Gegenwart von wässrigen Lösungen oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

Bei anaerober Korrosion bildet sich Wasserstoffgas.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Korrosionsprozesse verändern die Zusammensetzung und Menge der Gasphase. Infolge dessen können sich Gasgemische ändern, die durch den Wetterstrom stetig stark verdünnt werden. In bereits abgeworfenen Bereichen der Grube kann Gas kumuliert werden. Die Auswirkung hat keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.13.8 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit Lösung.

In Einlagerungsbereichen können Betonkomponenten korrodieren. Durch die Änderung der Hydrochemie kann die Korrosionsbeständigkeit des Betons beeinflusst werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Korrosionsprozesse verändern die Zusammensetzung und Menge der Gasphase. Infolge dessen können sich Gasgemische verändern, die durch den Wetterstrom stetig verdünnt werden. Die Auswirkungen auf die Gasphase haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.13.9 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (ELB)

Das FEP beschreibt u. a. Änderungen des Fluiddrucks in Lösungen und Gasen.

Die Fluiddruckänderungen können aus chemischen Prozessen (z. B. Quellen von Baustoffen, Gasbildung) oder aus der Geosphäre (z. B. litho- bzw. hydrostatischer Druck, Erdbeben) resultieren. Durch Fluiddruckänderung kann die Funktion von Verschlussbauwerken und Ausbaukomponenten beeinflusst werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Veränderung des Fluiddrucks hat während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung für die Gase.

6.13.10 Einwirkender Prozess: Konvergenz (ELB)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im umgebenden Gebirge einsetzt. Konvergenz führt zur Abnahme des Hohlraum- und Porenvolumens. Dadurch können Gase aus abgeworfenen Grubenbauen verdrängt oder der Fluiddruck geringfügig erhöht werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Veränderung des Fluiddrucks oder Gasflüsse allein haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.13.11 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (ELB)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffen, in den Einlagerungsbereich.

Durch vorlaufende Erkundung sind starke Lösungs- und Gaszutritte in Einlagerungsbereichen nicht zu unterstellen. Geringe Lösungs- und Gaszutritte, die den Betrieb nicht beeinträchtigen, werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Fluidzutritte verändern die Zusammensetzung und Menge der Gasphase in Grubenbauen. Die Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase. Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 der Komponente zu-

geordnet, der sie entstammen. Im Einlagerungsbereich sind Fluidzutritte ausschließlich dem Wirtsgestein zuzuordnen (Kapitel 6.9).

6.13.12 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (ELB)

Das FEP beschreibt die Zersetzung von organischen Bestandteilen der Abfälle, Moderatormaterialien, Asphaltdichtungen der Verschlussbauwerke und Kohlenwasserstoffen im Wirtsgestein.

Durch die Zersetzung von Organika kann die Funktion von Verschlussbauwerken beeinflusst werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Degradationsprozesse verändern Fluiddruck, Zusammensetzung und Mengen der Gasphasen. Infolge dessen können sich kritische Gasgemische bilden, die durch die Wetter stark verdünnt werden. Sollte die Bewetterung in abgeworfenen Grubenbauen eingeschränkt sein oder ausfallen, können sich brennbare Gase, wie z. B. Methan, ansammeln und kritische Gasgemische bilden. Dabei kann auch der Fluiddruck erhöht werden, was zum Versagen eines Ausbaus oder eines Verschlusses führen kann, siehe z. B. die Komponente „Bohrlochverschluss“ (Kapitel 6.17).

6.13.13 Einwirkender Prozess: Einbringen von Buffer und Versatz (ELB)

Das Einbringen von Buffer und Versatz erfolgt während des Einlagerungsbetriebes bzw. während der Verschließung der Grubenräume im Rückbau.

Durch das Einbringen von Buffer und Versatz wird einerseits Luft in die Grubenbaue eingebracht. Andererseits können Buffer und Versatz Gase aufnehmen, z. B. durch Speichern im Porenraum oder durch Einbau in Mineralstrukturen. Veränderungen beeinflussen die chemischen Prozesse.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Durch das Einbringen von Versatz und Buffer können sich die Menge und Zusammensetzung der Gasphase verändern. Diese Prozesse haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.13.14 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungsbohrung (ELB)

Das FEP umfasst die Prozesse beim Stoßen und Verschließen einer Erkundungsbohrung.

Erkundungsbohrungen bilden beim Erstellen Wegsamkeiten. Durch das Verfüllen und Verschließen werden diese abgedichtet.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Beim Erstellen von Bohrungen kann es zu Gaszutritten in die Einlagerungsbereiche kommen. Fluidzutritte werden gemäß Kapitel 2 den Komponenten zugeordnet, denen sie entstammen. Im Einlagerungsbereich sind Fluidzutritte ausschließlich dem Wirtsgestein zuzuordnen. Auswirkungen eines fehlerhaften Verschlusses werden bei der Komponente „Erkundungsbohrung“ diskutiert (Kapitel 6.16).

6.13.15 Einwirkender Prozess: Errichten eines Verschlussbauwerkes (ELB)

Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und Widerlager eines Verschlussbauwerkes.

Verschlussbauwerke behindern die Ausbreitung von Lösungen. Verschlussbauwerke eines Einlagerungsfeldes werden erst kurz vor dessen Abwerfen eingebaut.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Verschlussbauwerke behindern Fluidbewegungen, wobei keine Anforderungen an die Gasdichtheit bestehen. Bei einem unzureichenden Verschluss können Gase aus einem Einlagerungsfeld ins Grubengebäude abfließen. Die Auswirkungen eines unzureichenden Verschlusses werden bei der Komponente „Verschlussbauwerke“ beschrieben (Kapitel 6.18).

6.13.16 Einwirkender Prozess: Errichten des Verschlusses einer Einlagerungsbohrung

Vertikale Einlagerungsbohrlöcher werden durch einen Bohrlochverschluss abgedichtet. Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und Widerlager.

Der Bohrlochverschluss ist oberhalb des Ausbaus des Bohrlochs angeordnet.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Bohrlochverschlüsse dichten die Einlagerungsbohrlöcher gegen Fluidbewegungen ab und bestimmen die Gasflüsse und Gasmengen im Bohrloch. Durch unzureichenden Verschluss kann es zu Lösungszuflüssen in das Einlagerungsbohrloch kommen. Die Auswirkungen eines unzureichenden bzw. fehlerhaften Verschlusses werden bei der Komponente „Bohrlochverschluss“ beschrieben (Kapitel 6.17).

6.13.17 Einwirkender Prozess: Radioaktiver Zerfall (ELB)

Das FEP beschreibt Kernumwandlungsprozesse von Radionukliden unter Aussendung von Strahlung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Auswirkungen auf die Gase haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung. Zur Bewertung der radiologischen Belastung während der Betriebsphase siehe die Erläuterungen in Kapitel 2.

6.13.18 Einwirkender Prozess: Radiolyse

Unter Radiolyse versteht man die Veränderung chemischer Verbindungen durch die Einwirkung ionisierender Strahlung. Im Einlagerungsbereich kann die Radiolyse von Fluiden zur Gasbildung führen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Gasbildung der Radiolyse verändert die Menge und Zusammensetzung der Gasphasen in den Einlagerungsbereichen sowie den Fluiddruck. Infolge dessen könnten sich kritische Gasgemische bilden, die durch die Wetter stark verdünnt werden. Sollte die Bewetterung in abgeworfenen Grubenbauen eingeschränkt sein oder ausfallen, können sich brennbare Gase (z. B. Wasserstoff) ansammeln und kritische Gasgemische bilden. Diese Auswirkungen auf Gase haben in der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.13.19 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (ELB)

Wärme wird von den eingelagerten Endlagergebinden, von Maschinen und vom Gebirge abgegeben und in nicht abgeworfenen Teilen des Grubengebäudes über Wetter in die Atmosphäre transportiert.

Der Wärmestrom verändert die Temperatur der Fluide und somit die Bedingungen chemischer und thermomechanischer Prozesse. Im Nahfeld heißer Endlagerbehälter ändern sich u. a. Aggregatzustand, Löslichkeiten, Viskosität und Fluiddruck.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Im Nahfeld der heißen Endlagerbehälter und von Maschinen kann Lösung verdampfen. Dies hat Auswirkungen auf die Gasmengen und Gaszusammensetzungen sowie auf den Fluiddruck.

Hohe Temperaturen fördern das Entgasen von Treib- und Schmierstoffen. Bei Erreichen der Zündtemperatur kann ein Brand verursacht werden. Die Auswirkungen auf die Gase haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.13.20 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (ELB)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet. Im eingespannten Zustand führt es zur Quelldruckänderung, während im freien Zustand eine Volumenänderung resultiert.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor. Beim Quellen erhöht sich das Volumen des Festkörpers oder es wird ein Quelldruck auf die Umgebung ausgeübt. Beim Schrumpfen verringert sich das Volumen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Durch die Aufnahme (Quellen) zw. die Abgabe (Schrumpfen) von Wasser ändert sich der Fluiddruck. Diese Auswirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.13.21 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (ELB)

Die Alteration umfasst chemisch-mineralogische Umwandlungen der ALZ durch den Wetterstrom oder zutretende Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Durch Alterationsprozesse können sich die Hydrochemie und bei Volumenänderungen der Fluiddruck ändern. Die Auswirkungen auf Gase haben in der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.13.22 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (ELB)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird Volumenzunahme bzw. -abnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen wird.

Aufgrund der wärmeentwickelnden Abfälle ist der Prozess in Einlagerungsbereichen von besonderer Bedeutung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Thermische Volumenveränderungen können Änderungen des Fluiddrucks bewirken. Die Einwirkungen auf Gase haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.14 Komponente „Versatz (Einlagerungsbereich)"

Das FEP beschreibt die Funktion und Eigenschaften der in den Einlagerungsbereich eingebrachten Versatzmaterialien sowie deren chemische, thermische, hydraulische und mechanische Eigenschaften. Es werden folgende Versatzstoffe angenommen: Salzgrus in Steinsalz, Bentonit und/oder arteigenes Material in Kristallin- und Tongestein.

Versatz trägt zur Stabilisierung der Grubenbaue in der Betriebsphase bei, ohne dass Anforderungen für die Betriebssicherheit abgeleitet werden.

Durch Setzung kann ein Firstspalt entstehen. Versatz wird in der Regel zum Abschluss des Abwerfens eines Einlagerungsbereiches eingebaut. Er kann durch Speicherung im Porenraum u. a. Gase aufnehmen. Dadurch kann eine Zündung von Gasen verhindert werden. Der eingebaute Versatz verhindert die Ausbreitung von Flammen.

6.14.1 Einwirkender Prozess: Auffahrung von Strecken (ELB)

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Streckenauffahrung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente „Versatz“ sind zeitlich entkoppelt: Auffahrungen erfolgen zu Beginn der Betriebsphase, lange Zeit vor dem Einbringen von Versatz.

6.14.2 Einwirkender Prozess: Bohren eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Betriebsabläufe beim Stoßen von Einlagerungsbohrlöchern.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente „Versatz (ELB)“ sind zeitlich entkoppelt: Das Stoßen der Einlagerungsbohrlöcher erfolgt lange Zeit vor dem Einbringen des Versatzes.

6.14.3 Einwirkender Prozess: Ausbau von Strecken

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe beim Einbringen des Streckenausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente „Versatz (ELB)“ sind zeitlich getrennt. Der Ausbau wird vor dem Einbringen des Versatzes entfernt oder ist zu diesem Zeitpunkt sicherheitstechnisch unbedeutend.

6.14.4 Einwirkender Prozess: Ausbau eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Bohrlochausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

In den Einlagerungsbohrlöchern gibt es keinen Versatz.

6.14.5 Einwirkender Prozess: Einlagerungsbetrieb

Das FEP beschreibt den bestimmungsgemäßen Betrieb beim Transport und bei der Einlagerung von Endlagergebinden sowie beim Verschluss von Einlagerungsstrecken bzw. Einlagerungsbohrlöchern.

Erschütterungen, Luftfeuchte, Betriebsstoffe, Gase usw. während des Betriebs können bereits vorhandene Einlagerungsbereiche beeinflussen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Der Prozess ist von der Komponente „Versatz (ELB)“ räumlich und zeitlich getrennt: Das Einbringen des Versatzes erfolgt nach der Einlagerung.

6.14.6 Einwirkender Prozess: Bewetterung

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Während der Betriebsphase müssen Einlagerungsstrecken bewettert werden. Hierzu sind umfangreiche Einbauten und ggf. zusätzliche Grubenbaue erforderlich.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente „Versatz“ sind entkoppelt: Sobald Grubenbereiche versetzt sind, findet dort keine Bewetterung mehr statt.

6.14.7 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion

Das FEP beschreibt die (elektro-)chemische Reaktion von Metallen mit den Stoffen der Umgebung bei Gegenwart von wässrigen Lösungen oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

In den Einlagerungsbohrlöchern und -strecken können z. B. die Stahlliner und Endlagerbehälter korrodieren. Durch Änderungen der Hydrochemie kann das Quellvermögen des Buffers beeinflusst werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Im Versatz befinden sich keine Metalle.

6.14.8 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit Lösung.

In den Einlagerungsbereichen können die Betonkomponenten korrodieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Der Versatz enthält keinen Zement.

6.14.9 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (ELB)

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustandes in Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten. Die Einwirkung thermomechanischer Beanspruchungen wird beim Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 6.14.22) behandelt.

Spannungsänderungen in technischen Komponenten können aus betrieblichen Lasten (z. B. Auffahrung), chemischen Prozessen (z. B. Quellen von Baustoffen, Gasbildung) oder der Geosphäre (z. B. litho- bzw. hydrostatischer Druck, Erdbeben) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Spannungsänderungen beeinflussen mechanische und hydraulische Eigenschaften des Versatzes.

Versagen des Versatzes: Bei Fehleinschätzungen der Spannungsverhältnisse im Versatz kann er seine stabilisierende Wirkung nicht erfüllen.

Weitere Einwirkungen, wie Entfestigungen und Auflockerungen des Gesteins, werden bei der Komponente „Auflockerungszone“ (Kapitel 6.10) beschrieben.

6.14.10 Einwirkender Prozess: Konvergenz (ELB)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im Gebirge einsetzt.

Konvergenz verringert das Hohlraum- und Porenvolumen des Versatzes, erhöht dessen Einspannung und schließt den Firstspalt sowie die ALZ.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

In kompaktierbarem Versatz, wie Salzgrus, verringern sich die Porosität und Permeabilität und erhöhen sich der Versatzdruck und die Einspannung (Kapitel 6.14.9). Daraus resultieren Änderungen der mechanischen und hydraulischen Eigenschaften und die Konturstabilisierung dieser Grubenbaue.

Versagen des Versatzes: Bei Fehleinschätzungen der Konvergenz kann sich der Firstspalt nicht schlließen und der Versatz erfüllt nicht seine konturstabilisierende Anforderung.

6.14.11 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (ELB)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffen, in den Einlagerungsbereich.

Durch die vorlaufende Erkundung sind starke Lösungs- und Gaszutritte in den ELB nicht zu unterstellen. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Fluidzutritte bewirken das Eindringen von Lösung in den Porenraum des Versatzes. Die Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung in der Betriebsphase. Aber aus der Durchnässung bzw. der Durchfeuchtung resultieren ggf. Erosion, Sackung und Firstspalte – mit der Folge Spannungsänderungen (Kapitel 6.14.9). Bentonite und Tone werden ggf. alteriert, u. a. durch Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Kapitel 6.14.20).

6.14.12 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (ELB)

Das FEP betrifft die Zersetzung von organischen Bestandteilen der Abfälle, Moderatormaterialien, Asphaltdichtungen der Verschlussbauwerke und Kohlenwasserstoffen aus dem Wirtsgestein.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Tonhaltige Versatzkörper können geringe Mengen an organischen Bestandteilen enthalten. Die Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

Die Gasbildung durch mikrobielle Degradation muss berücksichtigt werden, siehe Komponente „Gase“ (Kapitel 6.13).

6.14.13 Einwirkender Prozess: Einbringen von Buffer und Versatz (ELB)

Das FEP betrifft die Verfüllung von Grubenbauen mit Feststoffen in der Betriebsphase. Das Einbringen von Buffer und Versatz erfolgt während des Einlagerungsbetriebes bzw. während der Verschließung der Grubenräume im Rückbau.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Das Einbringen von Versatz verfüllt Hohlräume und bewirkt eine Stabilisierung der Kontur von Grubenbauen – jedoch erst kurz vor dem Ende der Betriebsphase.

Versagen des Versatzes: Falls Versatz nicht anforderungsgerecht eingebaut wird, kann die Stabilisierungsfunktion beeinträchtigt sein.

6.14.14 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungsbohrung (Einlagerungsbereich)

Das FEP umfasst die Abläufe beim Stoßen und Verfüllen bzw. Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung.

Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen bilden beim Erstellen Wegsamkeiten. Durch das Verfüllen und Verschließen werden diese abgedichtet.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente Versatz sind zeitlich entkoppelt: die Erkundungsbohrungen werden durch die anschließende Streckenauffahrung überfahren, so dass sie beim Einbringen von Versatz in der Strecke nicht mehr existieren, oder sie werden vor dem Einbringen von Versatz verschlossen. Diese Auswirkungen sind während der Betriebsphase ohne sicherheitstechnische Bedeutung.

6.14.15 Einwirkender Prozess: Errichten eines Verschlussbauwerkes (ELB)

Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und Widerlager eines Verschlussbauwerkes.

Verschlussbauwerke behindern die Ausbreitung von Lösungen und werden erst zum Abschluss des Abwerfens eines Einlagerungsfeldes eingebaut.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Das Errichten von Streckenverschlüssen erfolgt erst in der späten Betriebsphase. Die Auswirkungen auf den Versatz sind in der Betriebsphase ohne sicherheitstechnische Bedeutung.

6.14.16 Einwirkender Prozess: Errichten des Verschlusses einer Einlagerungsbohrung

Vertikale Einlagerungsbohrlöcher werden durch einen Bohrlochverschluss abgedichtet. Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und Widerlager.

Der Bohrlochverschluss ist oberhalb des Ausbaus im Bohrloch angeordnet.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind zeitlich entkoppelt: der Bohrlochverschluss wird vor dem Versatz in der Beschickungsstrecke eingebracht.

6.14.17 Einwirkender Prozess: Radioaktiver Zerfall (ELB)

Das FEP beschreibt Kernumwandlungsprozesse von Radionukliden unter Aussendung von Strahlung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Diese Auswirkungen auf den Versatz haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.14.18 Einwirkender Prozess: Radiolyse

Unter Radiolyse versteht man die Veränderung chemischer Verbindungen durch die Einwirkung ionisierender Strahlung. Im Einlagerungsbereich kann die Radiolyse von Fluiden zur Gasbildung führen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind räumlich entkoppelt: Radiolyse findet nur in unmittelbarer Umgebung der Endlagerbehälter statt. Der Versatz in den Überfahrungs- und Beschickungsstrecken wird nicht erreicht.

6.14.19 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (ELB)

Das FEP beschreibt die Übertragung von Wärme zwischen den Komponenten und Grubenbauen. Wärme wird von den eingelagerten Endlagergebinden und vom Gebirge abgegeben und in nicht abgeworfenen Teilen des Grubengebäudes über Wetter in die

Atmosphäre transportiert. Die Wärmeentwicklung wird bei der Auslegung technischer Komponenten berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der Wärmestrom verändert die Temperatur und chemische Prozesse. Daraus können Mineralumbildungen und Volumenänderungen von Feststoffen resultieren, siehe Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 6.14.22). Der Wärmestrom hat während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.14.20 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (ELB)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet. Im eingespannten Zustand führt es zur Quelldruckänderung, während im freien Zustand eine Volumenänderung resultiert.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Beim Quellen erhöht sich das Volumen des Festkörpers oder es wird ein Quelldruck auf die Umgebung ausgeübt. Beim Schrumpfen verringert sich das Volumen. Das Schrumpfen und Quellen verändert hydraulische und mechanische Eigenschaften der Versatzkörper aus Bentonit und Ton, wie Porosität, Permeabilität, Stütz- und Quelldruck. Daraus resultieren Spannungsänderungen (Kapitel 6.14.9). Diese Auswirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.14.21 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (ELB)

Die Alteration umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen in der ALZ durch Wetter oder zutretende Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Der Prozess ist von der Komponente Versatz räumlich getrennt. Die Auswirkungen auf den Versatz haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.14.22 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (ELB)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird die Volumenzunahme bzw. Volumenabnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen wird.

Aufgrund der wärmeentwickelnden Abfälle ist der Prozess in den Einlagerungsbereichen von besonderer Bedeutung. Die Volumenänderungen werden bei der Auslegung technischer Komponenten berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Thermische Volumenveränderungen beeinflussen Porenraum und Mineralgefüge des Versatzes. Dadurch können sich die hydraulischen und mechanischen Eigenschaften verändern. Einwirkungen sind in der Betriebsphase ohne sicherheitstechnische Bedeutung.

6.15 Komponente „Buffer in Einlagerungsstrecken"

Das FEP beschreibt die Funktion, das Design und die Eigenschaften der in die Einlagerungsstrecken eingebrachten Buffer sowie deren Verhalten gegenüber äußeren Einwirkungen und den Kontakt mit dem Wirtsgestein.

Es werden folgende Materialien angenommen: Bentonit in Kristallin- und Tongestein, einschließlich des Auflagers aus verdichteten Bentonitblöcken für Endlagerbehälter. Buffer werden in der Regel „parallel“ mit der Einlagerung der Abfallgebinde eingebaut.

Die Buffer tragen zur Stabilisierung der Grubenbaue bei, verzögern eine Fluidbewegung und behindern die Ausbreitung von Radionukliden aus defekten Endlagerbehältern während der Betriebsphase.

6.15.1 Einwirkender Prozess: Auffahrung von Strecken (ELB)

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Streckenauffahrung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente „Buffer“ sind zeitlich entkoppelt: Auffahrungen erfolgen zu Beginn der Betriebsphase, lange Zeit vor Einlagerung und Einbringen des Buffers.

6.15.2 Einwirkender Prozess: Bohren eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Betriebsabläufe beim Stoßen von Einlagerungsbohrlöchern.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente „Buffer“ sind zeitlich entkoppelt: Das Stoßen der Einlagerungsbohrlöcher erfolgt lange Zeit vor dem Einbringen des Buffers.

6.15.3 Einwirkender Prozess: Ausbau von Strecken

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Streckenausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Der Prozess und die Komponente „Buffer“ sind zeitlich getrennt.

6.15.4 Einwirkender Prozess: Ausbau eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe beim Einbringen des Bohrlochausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Der Prozess ist von der Komponente „Buffer“ entkoppelt; der Buffer in den Einlagerungsbohrlöchern wird der Komponente „Ausbausystem vertikales Bohrloch“ (Kapitel 6.5) zugeordnet.

6.15.5 Einwirkender Prozess: Einlagerungsbetrieb

Das FEP beschreibt den bestimmungsgemäßen Betrieb beim Transport und bei der Einlagerung von Endlagergebinden sowie beim Verschluss der Einlagerungsstrecken bzw. Einlagerungsbohrlöchern.

Erschütterungen, Luftfeuchte, Betriebsstoffe, Gase usw. während des Betriebs können bereits vorhandene Einlagerungsbereiche beeinflussen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Einlagerung der Gebinde und Einbau des Buffers werden parallel durchgeführt und können sich beeinflussen.

Versagen des Buffers: Menschliche Fehler beim Einlagerungsbetrieb können die Funktionsfähigkeit des Buffers beeinträchtigen.

6.15.6 Einwirkender Prozess: Bewetterung

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Während der Betriebsphase müssen Einlagerungsstrecken bewettert werden. Hierzu sind umfangreiche Einbauten und ggf. zusätzliche Grubenbaue erforderlich.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt: Sobald der Buffer in eine Strecke eingebaut ist, findet dort keine Bewetterung statt. Die Bewetterung kann nur die Frontseite des Buffers beeinflussen – ohne unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.15.7 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion

Das FEP beschreibt die (elektro-)chemische Reaktion von Metallen mit den Stoffen der Umgebung bei Gegenwart von wässrigen Lösungen oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

In den Einlagerungsbohrlöchern können z. B. die Stahlliner und die Endlagerbehälter korrodieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Im Buffer befindet sich kein Metall.

6.15.8 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit Lösung.

In den Einlagerungsbereichen können die Betonkomponenten korrodieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Im Buffer befinden sich kein Zement und keine Betonkomponenten.

6.15.9 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (ELB)

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustandes in Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten sowie durch Änderung des Fluiddrucks.

Die Einwirkung thermomechanischer Beanspruchung wird beim Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 6.15.22) behandelt.

Spannungsänderungen in technischen Komponenten können aus betrieblichen Lasten (z. B. Auffahrung), chemischen Prozessen (z. B. Quellen von Baustoffen, Gasbildung) oder der Geosphäre (z. B. litho- bzw. hydrostatischer Druck, Erdbeben) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Spannungsumlagerungen bewirken Veränderungen mechanischer und hydraulischer Eigenschaften des Buffers. Dadurch kann die Rückhaltefunktion für Radionuklide aus defekten Endlagerbehältern beeinträchtigt werden.

Versagen des Buffers: Spannungsänderungen können Rissbildung und Kanalisierung verursachen und dadurch die hydraulische Funktion und die Rückhaltefunktion des Buffers beeinträchtigen.

6.15.10 Einwirkender Prozess: Konvergenz (ELB)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im Gebirge einsetzt.

Konvergenz verringert das Hohlraum- und Porenvolumen des Buffers, erhöht dessen Einspannung und schließt die ALZ.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Konvergenzentwicklung im bestimmungsgemäßen Betrieb ist eine Grundlage der Auslegungen. In kompaktierbarem Buffer verringern sich Porosität und Permeabilität

sowie erhöhen sich Versatzdruck und Einspannung. Daraus resultieren Änderungen der mechanischen und hydraulischen Eigenschaften des Buffers.

Versagen des Buffers: Durch eine geringe Konvergenzrate kann sich das Schließen der Kontaktzone zwischen Buffer und Kontur verzögern und die hydraulische Funktion und die Rückhaltefunktion des Buffers (temporär) beeinträchtigen.

6.15.11 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (ELB)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffen, in den Einlagerungsbereich.

Durch die vorlaufende Erkundung sind starke Lösungs- und Gaszutritte in den ELB nicht zu unterstellen. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Fluidzutritte bewirken das Eindringen von Lösung in den Porenraum des Buffers. Durch die Aufsättigung der Tone können sich die Spannungsverhältnisse ändern (Kapitel 6.15.9). Bentonite und Tone werden ggf. alteriert, u. a. durch Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (Kapitel 6.15.20).

Versagen des Buffers: Durch Kanalisierung oder Erosion kann die Rückhaltefunktion des Buffers während der Betriebsphase beeinträchtigt werden.

6.15.12 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (ELB)

Das FEP beschreibt die Zersetzung von organischen Bestandteilen der Abfälle, Moderatormaterialien, Asphaltdichtungen der Verschlussbauwerke und Kohlenwasserstoffen im Wirtsgestein.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Tonhaltige Buffer, wie Bentonit, können organische Bestandteile enthalten. Die Mengen sind gering. Die Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung in der Betriebsphase.

6.15.13 Einwirkender Prozess: Einbringen von Buffer und Versatz (ELB)

Das Einbringen von Buffer und Versatz erfolgt während des Einlagerungsbetriebes bzw. während der Verschließung der Grubenräume im Rückbau.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Das Einbringen von Buffer verfüllt Hohlräume und bewirkt die Stabilisierung der Kontur von Grubenbauen. Außerdem wird die Ausbreitung von Radionukliden aus defekten Endlagerbehältern während der Betriebsphase verhindert.

Versagen des Buffers: Technische oder menschliche Fehler beim Einbau des Buffers können die Rückhaltefunktion während der Betriebsphase beeinträchtigen.

6.15.14 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungsbohrung (ELB)

Das FEP umfasst die Arbeiten beim Stoßen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung.

Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen bilden beim Erstellen Wegsamkeiten. Durch das Verfüllen und Verschließen werden diese abgedichtet.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt: die Erkundungsbohrungen werden durch die anschließende Streckenauffahrung überfahren, so dass sie beim Einbringen vom Buffer in der Strecke nicht mehr existieren, oder sie sind räumlich von den Einlagerungsstrecken getrennt. Diese Auswirkungen sind während der Betriebsphase ohne sicherheitstechnische Bedeutung.

6.15.15 Einwirkender Prozess: Errichten eines Verschlussbauwerkes (ELB)

Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und der Widerlager eines Verschlussbauwerkes.

Verschlussbauwerke behindern die Ausbreitung von Lösungen und werden erst zum Abschluss des Abwerfens eines Einlagerungsfeldes eingebaut.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Einlagerungsstrecken werden nicht durch Verschlussbauwerke verschlossen. Die Auswirkungen auf den Buffer sind in der Betriebsphase ohne sicherheitstechnische Bedeutung.

6.15.16 Einwirkender Prozess: Errichten des Verschlusses einer Einlagerungsbohrung

Vertikale Einlagerungsbohrlöcher werden durch einen Bohrlochverschluss abgedichtet. Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und Widerlager.

Der Bohrlochverschluss ist oberhalb des Ausbaus im Bohrloch angeordnet.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Der Buffer im vertikalen Bohrloch gehört zur Komponente „Ausbausystem vertikales Bohrloch“ (Kapitel 6.5).

6.15.17 Einwirkender Prozess: Radioaktiver Zerfall (ELB)

Das FEP beschreibt Kernumwandlungsprozesse von Radionukliden unter Aussendung von Strahlung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Diese Auswirkungen auf den Buffer haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.15.18 Einwirkender Prozess: Radiolyse

Unter Radiolyse versteht man die Veränderung chemischer Verbindungen durch die Einwirkung ionisierender Strahlung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Radiolyse findet in unmittelbarer Umgebung der Endlagerbehälter statt und kann den Buffer beeinflussen. Radiolyse wird bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen des Buffers: Technische und konstruktive Fehler des Buffers können die hydraulische Funktion und die Rückhaltefunktion während der Betriebsphase beeinträchtigen.

6.15.19 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (ELB)

Das FEP beschreibt die Übertragung von Wärme zwischen den Komponenten und Grubenbauen. Wärme wird von den eingelagerten Endlagergebinden und vom Gebirge

abgegeben und in nicht abgeworfenen Teilen des Grubengebäudes über Wetter in die Atmosphäre transportiert.

Die Wärmeentwicklung wird bei der Auslegung technischer Komponenten berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der Wärmestrom verändert die Temperatur und chemische Prozesse. Daraus können Volumenänderungen von Feststoffen resultieren (Kapitel 6.15.22). Bei Einhaltung der Auslegungstemperatur sind Auswirkungen während der Betriebsphase ohne unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Bei höheren Temperaturen laufen die thermisch induzierten Mineralumwandlungen so langsam ab, dass sie während der Betriebsphase ohne sicherheitstechnische Bedeutung sind.

6.15.20 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (ELB)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet. Im eingespannten Zustand führt es zur Quelldruckänderung, während im freien Zustand eine Volumenänderung resultiert.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Beim Quellen erhöht sich das Volumen des Festkörpers oder es wird ein Quelldruck auf die Umgebung ausgeübt. Beim Schrumpfen verringert sich das Volumen. Das Schrumpfen und Quellen verändert die hydraulischen und mechanischen Eigenschaften von Bentonit – wie Porosität, Permeabilität, Stütz- und Quelldruck, siehe Prozess „Spannungsänderung“ (Kapitel 6.15.9).

Versagen des Buffers: Menschliche Fehler bei der Einschätzung des Quellens von Bentonit können dessen Rückhaltefunktion für Radionuklide aus defekten Behältern beeinträchtigen.

6.15.21 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (ELB)

Die Alteration umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen der ALZ durch Wetter oder zutretende Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Der Prozess ist von der Komponente Buffer räumlich getrennt. Auswirkungen auf den Buffer haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.15.22 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (ELB)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird die Volumenzunahme bzw. Volumenabnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen wird.

Aufgrund der wärmeentwickelnden Abfälle ist der Prozess in den Einlagerungsbereichen von besonderer Bedeutung. Die Volumenänderungen werden bei der Auslegung technischer Komponenten berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Thermische Volumenveränderungen beeinflussen Porenraum und Mineralgefüge des Buffers. Dadurch können sich die hydraulischen und mechanischen Eigenschaften verändern.

Versagen des Buffers: Die thermische Kontraktion des Buffers kann zur Rissbildung oder Kanalisierung führen und die hydraulische Funktion und die Rückhaltefunktion für Radionuklide aus defekten Behältern beeinträchtigen.

6.16 Komponente „Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (ELB)"

Zur Erkundung und Überwachung geologischer Parameter des Wirtsgesteins werden Bohrungen gestoßen. Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen beschreiben offene und verschlossene Bohrungen im Wirtsgestein sowie die chemischen, hydraulischen und mechanischen Eigenschaften.

Erkundungsbohrungen werden nach der Erkundung zumeist überfahren. Wenn das nicht der Fall sein sollte, werden sie hochwertig verfüllt und verschlossen. Es werden

folgende Materialien unterstellt: Sorelbeton im Steinsalz sowie zement- oder tonhaltige Materialien in Kristallin- und Tongesteinen.

Bohrungen für die betriebliche Überwachung werden instrumentiert und bleiben während der Betriebsphase offen. Die Instrumentierung ist Teil der Komponente „Technische Einrichtungen im ELB“ (Kapitel 6.8).

6.16.1 Einwirkender Prozess: Auffahrung von Strecken (ELB)

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Streckenauffahrung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt. Vorlaufende Erkundungsbohrungen werden durch Auffahrungen im ELB überfahren oder vor der Auffahrung verfüllt und verschlossen. Die Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.16.2 Einwirkender Prozess: Bohren eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Betriebsabläufe beim Stoßen von Einlagerungsbohrlöchern.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt. Beim Stoßen des Einlagerungsbohrlochs wird die vorlaufende Erkundungsbohrung überbohrt.

6.16.3 Einwirkender Prozess: Ausbau von Strecken

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Streckenausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt. Vorlaufende Erkundungsbohrungen werden durch Auffahrungen im ELB überfahren oder vor der Auffahrung verfüllt und verschlossen. Die Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.16.4 Einwirkender Prozess: Ausbau eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Bohrlochausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt: Beim Stoßen des Einlagerungsbohrlochs wird die vorlaufende Erkundungsbohrung überbohrt.

6.16.5 Einwirkender Prozess: Einlagerungsbetrieb

Das FEP beschreibt den bestimmungsgemäßen Betrieb beim Transport und bei der Einlagerung von Endlagergebinden sowie beim Verschluss der Einlagerungsstrecken bzw. -bohrlöchern.

Erschütterungen, Luftfeuchte, Betriebsstoffe, Gase usw. während des Betriebs können bereits vorhandene Einlagerungsbereiche beeinflussen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt. Die Bohrungen werden durch Auffahrungen im ELB überfahren oder vor der Einlagerung verfüllt und verschlossen. Bohrungen für die betriebliche Überwachung werden instrumentiert und bleiben während der Betriebsphase offen. Die Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.16.6 Einwirkender Prozess: Bewetterung

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Während der Betriebsphase müssen Einlagerungsstrecken bewettert werden. Hierzu sind umfangreiche Einbauten und ggf. zusätzliche Grubenbaue erforderlich.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Bohrungen werden nicht bewettert.

6.16.7 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion

Das FEP beschreibt die (elektro-)chemische Reaktion von Metallen mit den Stoffen der Umgebung bei Gegenwart von wässrigen Lösungen oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

In den Einlagerungsbohrlöchern können z. B. die Stahlliner und die Endlagerbehälter korrodieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Bei der Erstellung von Erkundungsbohrungen werden Metallteile, wie Verrohrungen, Bohrgestänge, Packer etc., verwendet.

Versagen des Verschlusses einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung: Die Metallteile in der Bohrung können korrodieren, Spannungsrisse in der Verfüllung bilden und die Durchlässigkeit des Verschlusses erhöhen.

6.16.8 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit Lösung.

Bei der Verfüllung von Erkundungsbohrungen werden u. a. zementbasierte Baustoffe verwendet. Durch die Änderung der Hydrochemie kann die Korrosionsbeständigkeit beeinflusst werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Korrosion kann die Verfüllung beschädigen. Auswirkungen werden bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen des Verschlusses einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung: Hohe Korrosionsraten können die Verfüllung beschädigen und die Durchlässigkeit des Verschlusses erhöhen.

6.16.9 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (ELB)

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustandes in Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten. Die Einwirkung thermomechanischer Beanspruchungen wird beim Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 6.16.22) behandelt.

Spannungsänderungen in technischen Komponenten können aus betrieblichen Lasten (z. B. Auffahrung), chemischen Prozessen (z. B. Quellen von Baustoffen, Gasbildung) oder der Geosphäre (z. B. litho- bzw. hydrostatischer Druck, Erdbeben) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Spannungsumlagerungen bewirken Veränderungen mechanischer und hydraulischer Eigenschaften von verfüllten Bohrungen.

Versagen des Verschlusses einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung: Spannungsänderungen können Risse in der Verfüllung bilden und die Durchlässigkeit des Verschlusses erhöhen.

6.16.10 Einwirkender Prozess: Konvergenz (ELB)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerung nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im Gebirge einsetzt.

Konvergenz verringert das Hohlraum- und Porenvolumen der Verfüllung, erhöht dessen Einspannung und schließt die ALZ.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch Konvergenz verringern sich Porosität und Permeabilität; es erhöht sich die Einspannung. Daraus resultieren Änderungen der mechanischen und hydraulischen Eigenschaften der Verfüllung.

Versagen des Verschlusses einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung: Falls die Konvergenzrate zu hoch eingeschätzt wird, kann sich das Schließen der Kontaktzone verzögern und die Durchlässigkeit des Verschlusses erhöhen.

6.16.11 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (ELB)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffe, aus dem Wirtsgestein.

Durch die vorlaufende Erkundung sind starke Lösungs- und Gaszutritte in den ELB nicht zu unterstellen. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Aus einer Kluft bzw. Störung im Ton- und Kristallingestein können Lösungen bzw. Wässer zutreten und den Bentonit eines Dichtelements erodieren und alterieren.

Versagen des Verschlusses einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung: Lösungen können den Verschluss erodieren und die Dichtfunktion beeinträchtigen.

Geringe Lösungs- und Gaszutritte allein haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung in der Betriebsphase. Sollten sich Zündfunken bilden, können geringe Zutritte brennbarer Gase signifikante Einwirkungen verursachen (Kombination von EVI).

Die Auswirkungen der veränderten Hydrochemie haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Sie beeinflussen aber chemische Prozesse, wie die Prozesse „Metallkorrosion“ (Kapitel 6.16.7), „Zementkorrosion“ (Kapitel 6.16.8), „Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen“ (Kapitel 6.16.20) und „Alteration der Auflockerungszone“ (Kapitel 6.16.21).

6.16.12 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (ELB)

Das FEP betrifft die Zersetzung von organischen Bestandteilen der Abfälle, Moderatormaterialien, Asphaltdichtungen der Verschlussbauwerke und Kohlenwasserstoffen im Wirtsgestein.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Tonhaltige Verfüllmaterialien können organische Bestandteile enthalten. Die Mengen sind sehr gering. Die Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung in der Betriebsphase.

6.16.13 Einwirkender Prozess: Einbringen von Buffer und Versatz (ELB)

Das FEP betrifft die Verfüllung von Grubenbauen mit Feststoffen in der Betriebsphase. Das Einbringen von Buffer und Versatz erfolgt während des Einlagerungsbetriebes bzw. während der Verschließung der Grubenräume im Rückbau.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt: dier Bohrungen werden bei der Auffahrung im ELB überfahren oder vor der Einlagerung verfüllt und verschlossen. Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.16.14 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungsbohrung (ELB)

Das FEP umfasst die Prozesse beim Stoßen und Verfüllen bzw. Verschließen von Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch das Verfüllen werden Hohlräume geschlossen, die Kontur stabilisiert und die hydraulische Wegsamkeit abgedichtet.

Versagen des Verschlusses einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung: Menschliche und technische Fehler beim Verfüllen können die Dichtfunktion beeinträchtigen.

6.16.15 Einwirkender Prozess: Errichten eines Verschlussbauwerkes (ELB)

Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und Widerlager eines Verschlussbauwerkes.

Verschlussbauwerke behindern die Ausbreitung von Lösungen und werden erst zum Abschluss des Abwerfens eines Einlagerungsfeldes eingebaut.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt: die Bohrungen werden bei Auffahrungen im ELB überfahren oder vor der Einlagerung verfüllt und verschlossen. Die Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.16.16 Einwirkender Prozess: Errichten des Verschlusses einer Einlagerungsbohrung

Vertikale Einlagerungsbohrlöcher werden durch den Bohrlochverschluss abgedichtet. Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und der Widerlager.

Der Bohrlochverschluss ist oberhalb des Ausbaus im Bohrloch angeordnet.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt: Die Erkundungsbohrungen werden durch die folgenden Einlagerungsbohrungen überbohrt.

6.16.17 Einwirkender Prozess: Radioaktiver Zerfall (ELB)

Das FEP beschreibt Kernumwandlungsprozesse von Radionukliden unter Aussendung von Strahlung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Diese Auswirkungen auf die Erkundungsbohrungen haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.16.18 Einwirkender Prozess: Radiolyse

Unter Radiolyse versteht man die Veränderung chemischer Verbindungen durch die Einwirkung ionisierender Strahlung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Prozess und Komponente sind räumlich entkoppelt: Radiolyse findet in unmittelbarer Umgebung der Endlagerbehälter statt und erreicht die Erkundungsbohrungen nicht.

6.16.19 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (ELB)

Das FEP beschreibt die Übertragung von Wärme zwischen den Komponenten und Grubenbauen. Wärme wird von den eingelagerten Endlagergebinden und vom Gebirge abgegeben und in nicht abgeworfenen Teilen des Grubengebäudes über Wetter in die Atmosphäre transportiert. Die Wärmeentwicklung wird bei der Auslegung technischer Komponenten berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der Wärmestrom verändert die Temperatur und die Bedingungen chemischer Prozesse. Daraus resultieren Volumenänderungen von Feststoffen, siehe Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 6.16.22). Temperaturerhöhungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.16.20 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (ELB)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet. Im

eingespannten Zustand führt es zur Quelldruckänderung, während im freien Zustand eine Volumenänderung resultiert.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Bei der Verfüllung von Erkundungsbohrungen werden u. a. tonhaltige Materialien verwendet. Durch das Schrumpfen und Quellen verändern sich die hydraulischen und mechanischen Eigenschaften.

Versagen des Verschlusses einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung: Fehleinschätzungen des Quellvermögens können die Dichtfunktion beeinträchtigen.

6.16.21 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (ELB)

Die Alteration umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen der ALZ durch Wetter oder zutretende Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Auswirkungen auf die Bohrungen sind geringfügig und haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.16.22 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (ELB)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird die Volumenzunahme bzw. Volumenabnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen wird.

Aufgrund der wärmeentwickelnden Abfälle ist der Prozess in den Einlagerungsbereichen von besonderer Bedeutung. Die Volumenänderungen werden bei der Auslegung technischer Komponenten berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Thermische Volumenveränderungen beeinflussen Porenraum und Mineralgefüge der Verfüllung. Dadurch können sich die hydraulischen und mechanischen Eigenschaften verändern.

Versagen des Verschlusses einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung: Die thermische Kontraktion der Verfüllung kann zur Rissbildung oder Kanalisierung führen und die Dichtfunktion beeinträchtigen.

6.17 Komponente „Bohrlochverschluss"

Die Einlagerungsbohrungen im Ton- und Kristallingestein sollen durch Bohrlochverschlüsse abgedichtet werden, die aus einem Dichtelement und Widerlager bestehen. Es werden folgende Materialien unterstellt: Bentonit für Dichtelemente und zementhaltiger Beton für Widerlager. Während des Betriebs werden die Bohrlochverschlüsse durch Stahlplatten abgedeckt. Die Bohrlochverschlüsse behindern die Freisetzung von Radionukliden und den Zutritt von Fluiden.

6.17.1 Einwirkender Prozess: Auffahrung von Strecken (ELB)

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Streckenauffahrung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind zeitlich entkoppelt. Die Auffahrung von Strecken im ELB erfolgt lange vor dem Verschluss der Einlagerungsbohrungen.

6.17.2 Einwirkender Prozess: Bohren eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Betriebsabläufe beim Stoßen von Einlagerungsbohrlöchern.

Beim Stoßen des Einlagerungsbohrlochs müssen die Anforderungen für den Einbau des Verschlusses erfüllt werden, z. B. gebirgsschonende Verfahren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Der Prozess und die Komponente sind zeitlich entkoppelt.

6.17.3 Einwirkender Prozess: Ausbau von Strecken

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Streckenausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind zeitlich entkoppelt. Der Ausbau von Strecken im ELB erfolgt lange Zeit vor dem Verschluss der Einlagerungsbohrungen.

6.17.4 Einwirkender Prozess: Ausbau eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Bohrlochausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind zeitlich entkoppelt. Der Ausbau des Einlagerungsbohrlochs befindet sich unter dem Bohrlochverschluss. Auswirkungen auf die Bohrlochverschlüsse haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung in der Betriebsphase.

6.17.5 Einwirkender Prozess: Einlagerungsbetrieb

Das FEP beschreibt den bestimmungsgemäßen Betrieb beim Transport und bei der Einlagerung von Endlagergebinden sowie beim Verschluss der Einlagerungsstrecken bzw. -bohrlöcher.

Erschütterungen, Luftfeuchte, Betriebsstoffe, Gase usw. während des Betriebs können bereits vorhandene Einlagerungsbereiche beeinflussen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Diese Bohrlochverschlüsse werden durch Stahlplatten abgedeckt, so dass keine Beschädigung durch den Betrieb auftreten. Die Auswirkungen haben keine sicherheitstechnische Bedeutung in der Betriebsphase.

6.17.6 Einwirkender Prozess: Bewetterung

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Während der Betriebsphase müssen Einlagerungsstrecken bewettert werden. Hierzu sind umfangreiche Einbauten und ggf. zusätzliche Grubenbaue erforderlich.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Bohrungen werden nicht bewettert. Die Auswirkungen auf die Bohrlochverschlüsse haben keine sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.17.7 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion

Das FEP beschreibt die (elektro-)chemische Reaktion von Metallen mit den Stoffen der Umgebung bei Gegenwart von wässrigen Lösungen oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

Die Stahlplatten über den Bohrlochverschlüssen können korrodieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Einlagerungsphase der Bohrlochüberfahrungsstrecken ist so kurz, dass die Korrosion der Stahlplatten sicherheitstechnisch nicht von Bedeutung ist.

6.17.8 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit Lösung.

In Einlagerungsbereichen können Betonkomponenten korrodieren. Durch die Änderung der Hydrochemie kann die Korrosionsbeständigkeit des Betons beeinflusst werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Für einen Bohrlochverschluss wird ein Widerlager aus zementbasiertem Beton eingebaut. Dessen Korrosion kann den Verschluss beschädigen. Die Einlagerungsphase der Bohrlochüberfahrungsstrecken ist so kurz, dass die Korrosion des Widerlagers sicherheitstechnisch nicht von Bedeutung ist.

6.17.9 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (ELB)

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustandes in Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten sowie durch Änderungen des Fluiddrucks.

Die Einwirkung thermomechanischer Beanspruchung wird beim Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 6.17.22) behandelt.

Spannungsänderungen in technischen Komponenten können aus betrieblichen Lasten (z. B. Auffahrung), chemischen Prozessen (z. B. Quellen von Baustoffen, Gasbildung) oder der Geosphäre (z. B. litho- bzw. hydrostatischer Druck, Erdbeben) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Spannungsumlagerungen bewirken Veränderungen mechanischer und hydraulischer Eigenschaften von verfüllten Bohrungen.

Versagen des Bohrlochverschlusses: Spannungsänderungen, die Risse und Kanalisierungen bilden, können die Dichtfunktion beeinträchtigen.

6.17.10 Einwirkender Prozess: Konvergenz (ELB)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerung nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im Gebirge einsetzt.

Konvergenz verringert das Hohlraum- und Porenvolumen des Verschlusses, erhöht dessen Einspannung und schließt die ALZ.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch Konvergenz verringern sich Porosität und Permeabilität; es erhöht sich die Einspannung. Daraus resultieren Änderungen der mechanischen und hydraulischen Eigenschaften des Verschlusses.

Versagen des Bohrlochverschlusses: Falls die Konvergenzrate zu hoch eingeschätzt wird, kann sich das Schließen der Kontakt- und Auflockerungszonen verzögern und die Dichtfunktion des Verschlusses beeinträchtigen.

6.17.11 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (ELB)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffen, aus dem Wirtsgestein.

Durch vorlaufende Erkundung sind starke Lösungs- und Gaszutritte im ELB nicht zu unterstellen. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Aus einer Kluft bzw. Störung im Ton- und Kristallingestein können Lösungen bzw. Wässer zutreten und den Bentonit eines Dichtelements erodieren und alterieren.

Versagen des Bohrlochverschlusses: Lösungsflüsse können Kanalisierungen im Bentonit bilden und die Dichtfunktion beeinträchtigen.

6.17.12 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (ELB)

Das FEP betrifft die Zersetzung von organischen Bestandteilen der Abfälle, Moderatormaterialien, Asphaltdichtungen der Verschlussbauwerke und Kohlenwasserstoffen im Wirtsgestein.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Tonhaltige Verfüllmaterialien können organische Bestandteile enthalten. Die Mengen sind sehr gering. Die Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung in der Betriebsphase.

6.17.13 Einwirkender Prozess: Einbringen von Buffer und Versatz (ELB)

Das Einbringen von Buffer und Versatz erfolgt während des Einlagerungsbetriebes bzw. während der Verschließung der Grubenräume im Rückbau.

Versatz und Buffer in den Überfahrungsstrecken stabilisieren die Lage der Bohrlochverschlüsse.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt: Einlagerungsbohrungen werden vor der Verfüllung der Überfahrungsstrecken und Querschläge verschlossen.

6.17.14 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungsbohrung (ELB)

Das FEP umfasst die Prozesse beim Stoßen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt: Die Erkundungsbohrungen werden durch die folgenden Einlagerungsbohrungen überbohrt.

6.17.15 Einwirkender Prozess: Errichten eines Verschlussbauwerkes (ELB)

Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und Widerlager eines Verschlussbauwerkes.

Verschlussbauwerke behindern die Ausbreitung von Lösungen und werden erst zum Abschluss des Abwerfens eines Einlagerungsfeldes eingebaut.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind zeitlich entkoppelt: Einlagerungsbohrungen werden lange vor dem Einbau der Verschlussbauwerke von Einlagerungsfeldern verfüllt und verschlossen.

6.17.16 Einwirkender Prozess: Errichten des Verschlusses einer Einlagerungsbohrung

Vertikale Einlagerungsbohrlöcher werden durch den Bohrlochverschluss abgedichtet. Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und der Widerlager.

Der Bohrlochverschluss ist oberhalb des Ausbaus im Bohrloch angeordnet.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Durch den Verschluss werden Hohlräume geschlossen, die Kontur stabilisiert und die hydraulische Wegsamkeit abgedichtet.

Versagen des Bohrlochverschlusses: Menschliche oder technische Fehler beim Einbau des Bohrlochverschlusses können die Dichtfunktion beeinträchtigen.

6.17.17 Einwirkender Prozess: Radioaktiver Zerfall (ELB)

Das FEP beschreibt Kernumwandlungsprozesse von Radionukliden unter Aussendung von Strahlung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Diese Auswirkungen auf die Bohrlochverschlüsse haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.17.18 Einwirkender Prozess: Radiolyse

Unter Radiolyse versteht man die Veränderung chemischer Verbindungen durch die Einwirkung ionisierender Strahlung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Diese Auswirkungen auf die Bohrlochverschlüsse haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.17.19 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (ELB)

Wärme wird von den eingelagerten Endlagergebinden und vom Gebirge abgegeben und in nicht abgeworfenen Teilen des Grubengebäudes über Wetter in die Atmosphäre transportiert. Die Wärmeentwicklung wird bei der Auslegung technischer Komponenten berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der Wärmestrom kann Volumenänderungen von Feststoffen bewirken und dadurch thermomechanische Spannungen im Verschluss hervorrufen, vgl. thermische Expansion oder Kontraktion (Kapitel 6.18.22). Die Auswirkungen haben während der Betriebsphase bei Einhaltung der Auslegungstemperatur keine sicherheitstechnische Bedeutung.

Versagen des Bohrlochverschlusses: Überschreitung der Auslegungstemperatur kann die Dichtfunktion beeinträchtigen.

6.17.20 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (ELB)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet. Im eingespannten Zustand führt es zur Quelldruckänderung, während im freien Zustand eine Volumenänderung resultiert.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor. Beim Quellen erhöht sich das Volumen des Festkörpers oder es wird ein Quelldruck auf die Umgebung ausgeübt. Beim Schrumpfen verringert sich das Volumen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Bei dem Verschluss von Einlagerungsbohrungen werden u. a. tonhaltige Materialien verwendet. Durch das Schrumpfen und Quellen von Tonmineralen verändern sich die hydraulischen und mechanischen Eigenschaften.

Versagen des Bohrlochverschlusses: Falls durch menschliche und technische Fehler das tonige Dichtelement nicht in ausreichendem Maß quillt, kann die Dichtfunktion beeinträchtigt werden.

6.17.21 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (ELB)

Die Alteration umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen der ALZ durch Wetter oder zutretende Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Alterationen können Entfestigungen im Bereich der Dichtelemente bewirken und somit hydraulische und mechanische Eigenschaften der Bohrlochverschlüsse verändern. Diese Auswirkungen sind geringfügig und haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.17.22 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (ELB)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird die Volumenzunahme bzw. Volumenabnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen wird. Aufgrund der wärmeentwickelnden Abfälle ist der Prozess in den Einlagerungsbereichen von besonderer Bedeutung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Thermische Volumenveränderungen beeinflussen Porenraum und Mineralgefüge der Verfüllung. Dadurch können sich die hydraulischen und mechanischen Eigenschaften verändern.

Versagen des Bohrlochverschlusses: Die thermische Kontraktion von Verschlussmaterialien kann zu Rissbildung oder Kanalisierung führen und die Rückhaltefunktion für Radionuklide aus defekten Behältern beeinträchtigen.

6.18 Komponente „Verschlussbauwerke"

Die Verschlussbauwerke[6] bestehen aus redundanten Dichtelementen und Widerlagern. Im Ton und Kristallin werden folgende Baustoffe unterstellt: Bentonit und Asphalt für Dichtelemente, zementhaltiger Beton und Schotter für Widerlager.

Die Bauwerke werden in der Regel zum Abschluss des Abwerfens eines Einlagerungsfeldes eingebaut. Sie dienen der hydraulischen Abtrennung der Einlagerungs- und Infrastrukturbereiche.

6.18.1 Einwirkender Prozess: Auffahrung von Strecken (ELB)

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Streckenauffahrung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Streckenauffahrungen und das Errichten von Verschlussbauwerken sind zwar zeitlich entkoppelt, beim Auffahren der Strecken müssen jedoch die Anforderungen für den Einbau des Streckenverschlusses erfüllt werden, z. B. gebirgsschonende Verfahren.

Versagen des Streckenverschlusses: Menschliche und technische Fehler beim Auffahren können die Dichtfunktion beeinträchtigen.

6.18.2 Einwirkender Prozess: Bohren eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Betriebsabläufe beim Stoßen von Einlagerungsbohrlöchern.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt: Das Stoßen der Einlagerungsbohrlöcher erfolgt lange vor dem Errichten der Verschlussbauwerke.

6.18.3 Einwirkender Prozess: Ausbau von Strecken

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Streckenausbaus.

---

[6] verschiedene Bezeichnungen in den Konzepten: Streckenverschlüsse bei Bohrlochlagerung, Migrationssperren bei Streckenlagerung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Streckenausbau und Errichten der Verschlussbauwerke sind zeitlich entkoppelt. Beim Ausbau und beim Entfernen des Ausbaus müssen Anforderungen für Streckenverschlüsse erfüllt werden, z. B. gebirgsschonende Verfahren.

6.18.4 Einwirkender Prozess: Ausbau eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Bohrlochausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt: Der Bohrlochausbau erfolgt lange vor dem Errichten der Verschlussbauwerke.

6.18.5 Einwirkender Prozess: Einlagerungsbetrieb

Das FEP beschreibt den bestimmungsgemäßen Betrieb beim Transport und bei der Einlagerung von Endlagergebinden sowie beim Verschluss der Einlagerungsstrecken bzw. -bohrlöcher.

Erschütterungen, Luftfeuchte, Betriebsstoffe, Gase usw. während des Betriebs können bereits vorhandene Einlagerungsbereiche beeinflussen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Verschlussbauwerke werden nach dem Abschluss des Einlagerungsbetriebes in einem Einlagerungsfeld errichtet. Die Auswirkungen des Einlagerungsbetriebes in anderen Einlagerungsfeldern haben keine sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.18.6 Einwirkender Prozess: Bewetterung

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Während der Betriebsphase müssen Einlagerungsstrecken bewettert werden. Hierzu sind umfangreiche Einbauten und ggf. zusätzliche Grubenbaue erforderlich.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

In abgeworfenen Einlagerungsbereichen findet keine Bewetterung statt. Die Stirnseite der Verschlussbauwerke zum offenen Grubengebäude kann durch Wetter dehydriert werden. Diese Auswirkungen haben keine sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.18.7 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion

Das FEP beschreibt die (elektro-)chemische Reaktion von Metallen mit den Stoffen der Umgebung bei Gegenwart von wässrigen Lösungen oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Verschlussbauwerke enthalten keine Metalle bzw. nur sehr geringe Mengen.

6.18.8 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit Lösung.

In Einlagerungsbereichen können Betonkomponenten korrodieren. Durch die Änderung der Hydrochemie kann die Korrosionsbeständigkeit des Betons beeinflusst werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Für Verschlussbauwerke in Ton- und Kristallgesteinen werden Widerlager aus zementbasiertem Beton eingebaut. Die Korrosion kann den Verschluss beschädigen. Die Auswirkungen werden bei der Auslegung berücksichtigt.

Versagen des Streckenverschlusses: Hohe Korrosionsraten können das Widerlager beschädigen und die Dichtfunktion des Verschlusses beeinträchtigen.

6.18.9 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (ELB)

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustandes in Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten. Die Einwirkung thermomechanischer Beanspruchung wird beim Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 6.18.22) behandelt.

Spannungsänderungen in technischen Komponenten können aus betrieblichen Lasten (z. B. Auffahrung), chemischen Prozessen (z. B. Quellen von Baustoffen, Gasbildung) oder der Geosphäre (z. B. litho- bzw. hydrostatischer Druck, Erdbeben) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Spannungsumlagerungen bewirken Änderungen der mechanischen und hydraulischen Eigenschaften und können zur Rissbildung oder Kanalisierung in Verschlüssen führen.

Versagen des Streckenverschlusses: Spannungsänderungen, die Risse und Kanalisierungen bilden, können die Dichtfunktion des Verschlusses beeinträchtigen.

6.18.10 Einwirkender Prozess: Konvergenz (ELB)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerung nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im Gebirge einsetzt.

Konvergenz verringert das Hohlraum- und Porenvolumen des Verschlusses, erhöht dessen Einspannung und schließt die ALZ.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Konvergenzentwicklung im bestimmungsgemäßen Betrieb ist eine Grundlage der Auslegungen. Es verringern sich Porosität und Permeabilität; es erhöht sich die Einspannung. Daraus resultieren Änderungen der mechanischen und hydraulischen Eigenschaften der Verschlüsse.

Versagen des Streckenverschlusses: Falls die Konvergenzrate zu hoch eingeschätzt wird, kann sich das Schließen der Kontaktzone verzögern und die Dichtfunktion des Verschlusses beeinträchtigen.

6.18.11 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (ELB)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffen, in das Grubengebäude.

Durch die vorlaufende Erkundung sind starke Lösungs- und Gaszutritte in ELB nicht zu unterstellen. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Aus einer Kluft bzw. Störung im Ton- und Kristallingestein können Lösungen bzw. Wässer zutreten und den Bentonit eines Dichtelements erodieren und alterieren.

Versagen des Streckenverschlusses: Lösungen können Bentonit erodieren und die Dichtfunktion beeinträchtigen.

Auswirkungen der veränderten Hydrochemie haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung. Sie beeinflussen aber chemische Prozesse, wie die Prozesse „Zementkorrosion“ (Kapitel 6.18.8), „Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen“ (Kapitel 6.18.20) und „Alteration der Auflockerungszone“ (Kapitel 6.18.21).

6.18.12 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (ELB)

Das FEP betrifft die Zersetzung von organischen Bestandteilen der Abfälle, Moderatormaterialien, Asphaltdichtungen der Verschlussbauwerke und Kohlenwasserstoffen im Wirtsgestein.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Für die Verschlussbauwerke in den Wirtsgesteinen Ton und Kristallin sind u. a. Dichtelemente aus Bitumen bzw. Asphalt vorgesehen. Die Degradation von Bitumen bzw. Asphalt verläuft sehr langsam und die hydraulischen und mechanischen Eigenschaften der Verschlüsse verändern sich erst nach der Betriebsphase in relevantem Ausmaß. Diese Auswirkungen haben keine sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.18.13 Einwirkender Prozess: Einbringen von Buffer und Versatz (ELB)

Das Einbringen von Buffer und Versatz erfolgt während des Einlagerungsbetriebes bzw. während der Verschließung der Grubenräume im Rückbau.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt: Versatz und Buffer werden vor dem Errichten der Verschlussbauwerke eingebaut.

6.18.14 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungsbohrung (ELB)

Das FEP umfasst alle Prozesse beim Stoßen und Verschließen einer Erkundungsbohrung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der Bohransatz für eine Erkundungsbohrung kann im Einbauort eines Verschlussbauwerkes anschlagen. Prozess und Komponente sind zeitlich entkoppelt: Die Bohrungen werden vor dem Errichten der Verschlüsse verfüllt und verschlossen (Kapitel 6.16).

Versagen des Streckenverschlusses: Menschliche und technische Fehler beim Verschließen einer Bohrung können eine Umläufigkeit des Verschlusses bilden und dessen Dichtfunktion beeinträchtigen.

6.18.15 Einwirkender Prozess: Errichten eines Verschlussbauwerkes (ELB)

Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und Widerlager eines Verschlussbauwerkes.

Die Verschlüsse stabilisieren die Kontur und verhindern Lösungsflüsse.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der geschlossene Ausbau in Auffahrungen im Tongestein muss entfernt (geraubt) werden, um Verschlussbauwerke anforderungsgerecht einzubauen. Dabei werden Spannungsumlagerungen im umgebenden Gebirge ausgelöst, die u. U. zum Einsturz des geraubten Abschnitts in der Auffahrung führen.

Versagen des Streckenverschlusses: Technische und menschliche Fehler bei der Auslegung und Errichtung können die Dichtfunktion beeinträchtigen.

6.18.16 Einwirkender Prozess: Errichten des Verschlusses einer Einlagerungsbohrung

Vertikale Einlagerungsbohrlöcher werden durch einen Bohrlochverschluss abgedichtet. Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und der Widerlager.

Der Bohrlochverschluss ist oberhalb des Ausbaus im Bohrloch angeordnet.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind zeitlich und räumlich entkoppelt: Die Ansatzpunkte von Einlagerungsbohrungen befinden sich nicht im Einbauort eines Verschlussbauwerkes und die Bohrungen in einem Einlagerungsfeld werden vor dem Einbau der Verschlussbauwerke für dieses Einlagerungsfeld den Anforderungen entsprechend verfüllt und verschlossen.

6.18.17 Einwirkender Prozess: Radioaktiver Zerfall (ELB)

Das FEP beschreibt Kernumwandlungsprozesse von Radionukliden unter Aussendung von Strahlung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Diese Auswirkungen auf Streckenverschlüsse haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.18.18 Einwirkender Prozess: Radiolyse

Unter Radiolyse versteht man die Veränderung chemischer Verbindungen durch die Einwirkung ionisierender Strahlung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Diese Auswirkungen auf Streckenverschlüsse haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.18.19 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (ELB)

Wärme wird von den eingelagerten Endlagergebinden und vom Gebirge abgegeben und in nicht abgeworfenen Teilen des Grubengebäudes über Wetter in die Atmosphäre transportiert. Die Wärmeentwicklung wird bei der Auslegung technischer Komponenten berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Der Wärmestrom verändert die Temperatur und Bedingungen chemischer Prozesse. Daraus resultieren lokal Volumenänderungen von Feststoffen, siehe Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 6.18.22). Die Auslegungstemperatur wird

wegen der großen Distanz zu den eingelagerten Abfällen nicht erreicht, so dass die Temperaturerhöhung keine sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase hat.

6.18.20 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (ELB)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet. Im eingespannten Zustand führt es zunächst zur Quelldruckänderung, während im freien Zustand eine Volumenänderung resultiert.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Für die Dichtelemente von Verschlussbauwerken wird u. a. Bentonit verwendet. Durch das Schrumpfen und Quellen von Tonmineralen verändern sich die hydraulischen und mechanischen Eigenschaften.

Versagen des Streckenverschlusses: Menschliche Fehler bei der Einschätzung des Quellens von Bentonit können die Dichtfunktion beeinträchtigen.

6.18.21 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (ELB)

Die Alteration umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen der ALZ durch Wetter oder zutretende Lösungen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Alterationen können Entfestigungen im Einbauort von Dichtelementen bewirken und hydraulische und mechanische Eigenschaften der Verschlussbauwerke verändern. Im Ton und Kristallin kann sich im Umfeld von Störungen die Entfestigung signifikant erhöhen.

Versagen des Streckenverschlusses: Entfestigungen können die Dichtfunktion beeinträchtigen.

6.18.22 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (ELB)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird die Volumenzunahme bzw. Volumenabnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen wird.

Aufgrund der wärmeentwickelnden Abfälle ist der Prozess in den Einlagerungsbereichen von besonderer Bedeutung. Die Volumenänderungen werden bei der Auslegung technischer Komponenten berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Thermische Volumenveränderungen beeinflussen Porenraum und Mineralgefüge der Verfüllung. Dadurch können sich die hydraulischen und mechanischen Eigenschaften verändern.

Versagen des Streckenverschlusses: Thermische Kontraktion kann zur Rissbildung oder Kanalisierung führen und die Dichtfunktion beeinträchtigen.

6.19 Komponente „Endlagergebinde und Transferbehälter"

Die Komponente umfasst die Endlagergebinde und Transferbehälter einschließlich der Materialien und Eigenschaften während des Transports. Endlagergebinde, die ohne Transferbehälter transportiert werden, sind hinreichend abgeschirmt. Transferbehälter gewährleisten die Abschirmung vor ionisierender Strahlung während des Transports nicht hinreichend abgeschirmter Endlagerbehälter.

Es werden folgende Behältermaterialien angenommen: Stahl, Gusseisen, Kupfer (nur Kristallin). Als Moderatormaterial wird z. B. Polyethylen eingesetzt. Die Gebinde enthalten weiterhin Metalle, Borosilikatglas etc.

Aufgrund der großen Zahl eingelagerter Endlagerbehälter ist nicht auszuschließen, dass eine geringe Anzahl von Behältern auf Grund von Fertigungs- und Messfehlern unerkannte Defekte aufweist. Die Einlagerung undichter Behälter ist auf Grund der radiologischen Überwachung aber als sehr gering wahrscheinlich einzuschätzen. Ohne weitere Einwirkung werden die Behälter als dicht angenommen.

6.19.1 Einwirkender Prozess: Auffahrung von Strecken (ELB)

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Streckenauffahrung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt.

6.19.2 Einwirkender Prozess: Bohren eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Betriebsabläufe beim Stoßen von Einlagerungsbohrlöchern.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt.

6.19.3 Einwirkender Prozess: Ausbau von Strecken

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Streckenausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt.

6.19.4 Einwirkender Prozess: Ausbau eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Bohrlochausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt.

6.19.5 Einwirkender Prozess: Einlagerungsbetrieb

Das FEP beschreibt den bestimmungsgemäßen Betrieb beim Transport und bei der Einlagerung von Endlagergebinden sowie beim Verschluss der Einlagerungsstrecken und -bohrlöcher.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Gebinde und Behälter sind für den Transport und die Einlagerung im Bergwerk ausgelegt, so dass Beeinträchtigungen der Schutzfunktion der Gebinde und Behälter im bestimmungsgemäßen Betrieb ausgeschlossen sind.

Versagen des Endlagergebindes: Technische Defekte können Behälter beschädigen.

Versagen des Transferbehälters: Technische Defekte können Behälter beschädigen.

6.19.6 Einwirkender Prozess: Bewetterung

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Während des Betriebs müssen die Einlagerungsstrecken bewettert werden.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Es besteht ein hoher Temperaturgradient zwischen Endlager- und Transferbehältern mit dem wärmeentwickelnden Inventar und dem Wetterstrom. Dies bewirkt sowohl Verdunstung oder Kondensation von Feuchtigkeit (vgl. u. a. Kapitel 6.19.7) als auch thermomechanische Spannungen der Behälterwandung (vgl. Kapitel 6.19.22). Diese Einwirkungen haben während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.19.7 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion

Das FEP beschreibt die (elektro-)chemische Reaktion von Metallen mit den Stoffen in Grubenbauen bei Gegenwart von wässriger Lösung oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

Die Behälter der Endlagergebinde und die Transferbehälter bestehen aus Metallen.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Feuchtigkeit kommt in der Grubenluft vor und wird Behälter korrodieren. Die Behälter sind für die Korrosion während der Einlagerung ausgelegt: Aufgrund hoher Sicherheitsfaktoren bei der Auslegung und kurzer Korrosionsdauer während des Betriebs werden keine auslegungsüberschreitenden Beschädigungen der Behälter erwartet. Unerkannte Defekte, die die Korrosionsraten fördern, sind nicht auszuschließen.

Das Versagen eines Transferbehälters durch Korrosion wird ausgeschlossen, da der Behälter vor jedem Einlagerungszyklus geprüft und bei Bedarf ersetzt wird.

Versagen des Endlagergebindes: Eine hohe Korrosionsrate bei Behälterdefekten (Lochfraß, Schweißnaht Deckel) kann die Integrität des Endlagerbehälters beeinträchtigen.

6.19.8 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit Lösung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Endlagergebinde und Transferbehälter enthalten keinen Zement.

6.19.9 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (ELB)

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustandes in Tragwerksbereichen des Grubengebäudes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten sowie durch Änderung des Fluiddrucks. Der lithostatische Druck ist Auslegungsgrundlage für die Endlagergebinde bzw. die Einlagerungssysteme.

Die Einwirkung thermomechanischer Beanspruchung wird beim Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 6.19.22) behandelt.

Spannungsänderungen können aus betrieblichen Lasten (z. B. Auffahrung), chemischen Prozessen (z. B. Quellen von Baustoffen, Gasbildung) oder der Geosphäre (z. B. litho- bzw. hydrostatischer Druck, Erdbeben) resultieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Falls Endlagergebinde mit unerkannten Defekten mechanisch geschwächt sind, kann z.B. der lithostische Druck über die um die Gebinde vorhandenen Komponenten (Buffer, Verfüllung, Versatz, Liner) zu Verformungen oder Beschädigungen eines Gebindes führen.

Versagen des Endlagergebindes: Spannungsänderungen können die Integrität eingelagerter Endlagergebinde mit unerkannten Defekten beeinträchtigen.

6.19.10 Einwirkender Prozess: Konvergenz (ELB)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im Gebirge einsetzt. Konvergenz führt zur Abnahme des Hohlraum- und Porenvolumens.

Die Konvergenz führt über Spannungsänderungen zu Einwirkungen auf die Endlagergebinde, siehe Kapitel 6.19.9.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Konvergenz wirkt über den Versatz oder Buffer auf bereits eingelagerte Endlagergebinde (siehe Kapitel 6.19.9).

6.19.11 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (ELB)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffen, in das Grubengebäude.

Durch vorlaufende Erkundung sind starke Lösungs- und Gaszutritte in den ELB nicht zu unterstellen. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die Auswirkungen haben keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase. Durch Kontakt mit Wasser bzw. Lösung können jedoch Behälter korrodieren, siehe Prozess Metallkorrosion (Kapitel 6.19.7).

6.19.12 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (ELB)

Das FEP betrifft die Zersetzung von organischen Bestandteilen der Abfälle, Moderatormaterialien, Asphaltdichtungen der Verschlussbauwerke und Kohlenwasserstoffen im Wirtsgestein.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Das vorgesehene Moderatormaterial in den Gebinden enthält organische Bestandteile. Die Degradation kann die Eigenschaften der Gebinde verändern, verläuft jedoch sehr langsam. Die Auswirkungen haben keine sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.19.13 Einwirkender Prozess: Einbringen von Buffer und Versatz (ELB)

Das FEP betrifft die Verfüllung von Grubenbauen mit Feststoffen in der Betriebsphase. Das Einbringen von Buffer und Versatz erfolgt während des Einlagerungsbetriebes bzw. während der Verschließung der Grubenräume im Rückbau.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Das Einbringen des Buffers bzw. Versatzes erfolgt sequentiell während der Einlagerung der Gebinde, so dass die Materialien mechanisch auf die Behälterwandungen einwirken. Die Endlagergebinde weisen hohe Sicherheitsfaktoren gegen mechanische Einflüsse auf. Die Auswirkungen haben keine sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.19.14 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (ELB)

Das FEP umfasst die Prozesse beim Stoßen und Verfüllen bzw. Verschließen einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt: Die Bohrungen sind vor dem Beginn des Einlagerungsbetriebes in einem Einlagerungsfeld bereits verfüllt und verschlossen bzw. nicht mehr existent (überfahren).

6.19.15 Einwirkender Prozess: Errichten eines Verschlussbauwerkes (ELB)

Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und der Widerlager eines Verschlussbauwerkes.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt: Die Verschlussbauwerke werden erst nach dem Abschluss des Einlagerungsbetriebes in einem Einlagerungsfeld errichtet.

6.19.16 Einwirkender Prozess: Errichten des Verschlusses einer Einlagerungsbohrung

Vertikale Einlagerungsbohrlöcher werden durch einen Bohrlochverschluss abgedichtet. Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und der Widerlager.

Der Bohrlochverschluss ist oberhalb des Ausbaus im Bohrloch angeordnet.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Der Einbau des Verschlusses erfolgt nach der Beladung der Einlagerungsbohrung. Die Einwirkungen haben keine sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.19.17 Einwirkender Prozess: Radioaktiver Zerfall (ELB)

Das FEP beschreibt Kernumwandlungsprozesse von Radionukliden unter Aussendung von Strahlung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Metalle der Behälter können durch strahlungsintensive Einwirkungen verspröden. Die Endlagergebinde und Transferbehälter sind für hohe Strahlenexpositionen ausgelegt und weisen hohe Sicherheitsfaktoren auf. Die Einwirkungen haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.19.18 Einwirkender Prozess: Radiolyse

Unter Radiolyse versteht man die Veränderung chemischer Verbindungen durch die Einwirkung ionisierender Strahlung.

Im Einlagerungsbereich, insbesondere in den Einlagerungsbohrungen und -strecken, kann die Radiolyse von Fluiden zur Gasbildung führen. Die Auswirkungen werden bei der Komponente „Gase (ELB)“ beschrieben (Kapitel 6.13).

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Auswirkungen haben während der Betriebsphase keine sicherheitstechnische Bedeutung.

6.19.19 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (ELB)

Wärme wird von den eingelagerten Endlagergebinden und vom Gebirge abgegeben und in nicht abgeworfenen Teilen des Grubengebäudes über Wetter in die Atmosphäre transportiert.

Die Wärmeentwicklung wird bei der Auslegung technischer Komponenten berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Es besteht ein hoher Temperaturgradient zwischen Endlager- und Transferbehältern sowie der Umgebung, bestimmt durch die Wetter. Wärmestrom kann Volumen- und Spannungsänderungen bewirken (Kapitel 6.19.22) und die Bedingungen chemischer Prozesse beeinflussen (Kapitel 6.19.7). Die Endlagergebinde und Transferbehälter sind gegen Einwirkungen der wärmeentwickelnden Abfälle ausgelegt und weisen hohe Sicherheitsfaktoren auf. Diese Auswirkungen haben bei Einhaltung der Auslegungstemperatur keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

6.19.20 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (ELB)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet. Im eingespannten Zustand führt es zunächst zur Quelldruckänderung, während im freien Zustand eine Volumenänderung resultiert.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Endlagergebinde und Transferbehälter enthalten keine tonhaltigen Komponenten.

6.19.21 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (ELB)

Die Alteration umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen der ALZ durch den Wetterstrom oder zutretende Lösung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Prozess und Komponente sind entkoppelt: Endlagergebinde und Transferbehälter sind kein Bestandteil der ALZ.

6.19.22 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (ELB)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird die Volumenzunahme bzw. Volumenabnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen wird.

Aufgrund der wärmeentwickelnden Abfälle ist der Prozess in den ELB von besonderer Bedeutung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Wärmestrom kann thermomechanische Spannungen der Behälterwandung bewirken. Endlagergebinde und Transferbehälter sind auf Einwirkungen der wärmeentwickelnden radioaktiven Abfälle ausgelegt und weisen hohe Sicherheitsfaktoren auf. Die Auswirkungen haben bei Einhaltung der Auslegungstemperatur während der Betriebsphase keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung.

Versagen des Endlagergebindes: Mechanisch geschwächte Behälter mit unerkannten Defekten können durch thermomechanische Spannungen beeinträchtigt werden.

6.20 Komponente „Fahrzeuge (Einlagerungsbereich)"

Das FEP umfasst alle Fahrzeuge, die für Erkundung, Streckenauffahrung, Bohrlocherstellung, Streckenausbau, Transport und Einlagerung von Endlagergebinden sowie für Verfüllung und Verschluss von Grubenbauen und Bohrungen benötigt werden.

Es werden drei Fahrzeugkategorien unterschieden:

- Bergbaumaschinen (Teilschnittmaschine, Bohrmaschine, …)
- Transportfahrzeuge für Endlagergebinde und Transferbehälter
- Einlagerungsmaschinen

Im Folgenden wird bei der Bewertung der Einwirkungen auf diese Kategorien Bezug genommen.

Alle Fahrzeuge stellen Brandlasten dar, so dass bei einer Zündung Feuer und Explosionen auftreten können. Außerdem werden mit dem Betrieb der Fahrzeuge immer chemotoxische Stoffe freigesetzt, z. B. Abgase. Die zugehörigen EVI werden nur beim Prozess „Einlagerungsbetrieb“ (Kapitel 6.20.5) genannt.

6.20.1 Einwirkender Prozess: Auffahrung von Strecken (ELB)

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Streckenauffahrung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Bei den Auffahrungen werden Bergbaumaschinen eingesetzt, wie z. B. Teilschnittmaschinen, Frontlader, Bohrmaschinen.

Versagen von Bergbaumaschinen: Bei den Auffahrungen können Bergbaumaschinen durch hereinbrechendes Gestein beschädigt werden.

6.20.2 Einwirkender Prozess: Bohren eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Betriebsabläufe beim Stoßen von Einlagerungsbohrlöchern.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Bei den Bohrarbeiten werden Bohrgeräte eingesetzt, die zur Komponente „Fahrzeuge“ gehören.

Versagen von Bergbaumaschinen: Bei den Bohrarbeiten können Geräte beschädigt werden.

6.20.3 Einwirkender Prozess: Ausbau von Strecken

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Streckenausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die für die Ausbauarbeiten erforderlichen Ankersetzgeräte bzw. die Manipulatoren zum Einbringen von Spritzbeton oder Ausbauelementen gehören zur Komponente „Fahrzeuge".

Versagen von Bergbaumaschinen: Bei den Arbeiten können Geräte und Fahrzeuge durch hereinbrechendes(n) Gestein bzw. Ausbau oder menschliche und technische Fehler beschädigt werden.

6.20.4 Einwirkender Prozess: Ausbau eines Einlagerungsbohrlochs

Das FEP beschreibt alle Arbeitsabläufe bei der Einbringung des Bohrlochausbaus.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die für das Einbringen des Ausbaus erforderlichen Geräte gehören zur Komponente „Fahrzeuge".

Versagen von Bergbaumaschinen: Bei den Arbeiten können Geräte beschädigt werden.

6.20.5 Einwirkender Prozess: Einlagerungsbetrieb

Das FEP beschreibt den bestimmungsgemäßen Betrieb beim Transport und bei der Einlagerung von Endlagergebinden sowie beim Verschluss der Einlagerungsstrecken und -bohrlöchern.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die für den Einlagerungsbetrieb erforderlichen Geräte und Transportfahrzeuge gehören zum Komponenten-FEP „Fahrzeuge" (alle drei Kategorien).

Feuer: Defekte Geräte, Anlagen und Transportfahrzeuge können Zündfunken bilden und brennbare Flüssigkeiten und Gase entzünden.

Explosion: Defekte Geräte, Anlagen und Transportfahrzeuge können Zündfunken bilden und kritische Gasgemische entzünden.

Versagen von Bergbaumaschinen: Durch technische und menschliche Fehler können diese beschädigt werden.

Versagen von Transportfahrzeugen: Durch technische und menschliche Fehler können diese beschädigt werden.

Versagen von Einlagerungsmaschinen: Durch technische und menschliche Fehler können diese beschädigt werden.

Freisetzung chemotoxischer Stoffe: Beschädigte Fahrzeuge können chemotoxische Stoffe (Kraftstoffe) freisetzen.

6.20.6 Einwirkender Prozess: Bewetterung

Das FEP beschreibt alle Prozesse der Bewetterung (Luftströmung) und gekoppelte Auswirkungen (Abkühlung, Erwärmung, Luftfeuchtigkeit).

Während der Betriebsphase müssen Einlagerungsstrecken bewettert werden. Hierzu sind umfangreiche Einbauten und ggf. zusätzliche Grubenbaue erforderlich.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Freisetzung chemotoxischer Stoffe: Fahrzeuge geben chemotoxische Stoffe (z. B. Abgase) frei, die sich einerseits mit dem Wetter ausbreiten andererseits durch diese verdünnt werden.

6.20.7 Einwirkender Prozess: Metallkorrosion

Das FEP beschreibt die (elektro-)chemische Reaktion von Metallen mit den Stoffen der Umgebung bei Gegenwart von wässrigen Lösungen oder Wasserdampf. Die Oxide weisen das ca. 3,6-fache Volumen des Ausgangsproduktes auf.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Fahrzeuge weisen Metallteile auf. Feuchtigkeit der Grubenluft (Wetter) wird Metallteile korrodieren. Die Metallteile der Fahrzeuge im Endlagerbergwerk sind für die Korrosion während des Betriebes ausgelegt.

Versagen von Bergbaumaschinen: Hohe Korrosion von Metallteilen kann Defekte und Fehlfunktionen der Bergbaumaschinen verursachen.

Versagen von Transportfahrzeugen: Hohe Korrosion von Metallteilen kann Defekte und Fehlfunktionen der Transportfahrzeuge verursachen.

Versagen von Einlagerungsmaschinen: Hohe Korrosion von Metallteilen kann Defekte und Fehlfunktionen der Einlagerungsmaschinen verursachen.

Freisetzung chemotoxischer Stoffe: Beschädigte Fahrzeuge können chemotoxische Stoffe freisetzen.

6.20.8 Einwirkender Prozess: Zementkorrosion

Das FEP beschreibt die chemische Umsetzung von Materialien mit Zementphasen durch Kontakt mit Lösung. In den Einlagerungsbereichen können die Betonkomponenten korrodieren.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Fahrzeuge haben keine Zementkomponenten.

6.20.9 Einwirkender Prozess: Spannungsänderung (ELB)

Das FEP beschreibt Änderungen des Spannungszustandes durch mechanisch, hydraulisch oder chemisch-mineralogisch induzierte Lasten sowie durch Änderung des Fluiddrucks.

Die Einwirkung thermomechanischer Beanspruchung wird beim Prozess „Thermische Expansion oder Kontraktion“ (Kapitel 6.20.22) behandelt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Fahrzeuge sind gegen mechanische Lasten des Einlagerungsbetriebs ausgelegt.

6.20.10 Einwirkender Prozess: Konvergenz (ELB)

Unter Konvergenz wird die Querschnittsverkleinerung von Grubenräumen verstanden, die aufgrund von Spannungsumlagerungen nach der Auffahrung durch Kriechprozesse im Gebirge einsetzt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Die Konvergenz wirkt auf Führungseinrichtungen (z. B. Schienen) von Fahrzeugen und Geräten, siehe die Komponente „Technische Einrichtungen“ (Kapitel 6.8). Es ändern sich Längen, Abstände etc. Führungseinrichtungen und Fahrzeuge im Endlagerbergwerk sind für die Konvergenz während des Betriebes ausgelegt.

6.20.11 Einwirkender Prozess: Fluidzutritt (ELB)

Das FEP umfasst den Übertritt von Fluiden, wie wässrigen Lösungen, Gasen und flüssigen Kohlenwasserstoffen, in das Grubengebäude.

Durch die vorlaufende Erkundung sind starke Lösungs- und Gaszutritte in den ELB nicht zu unterstellen. Geringe Lösungs- und Gaszutritte werden toleriert.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Diese Auswirkung hat keine unmittelbare sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase. Durch Kontakt mit Wasser bzw. Lösungen können aber Metallteile von Fahrzeugen korrodieren (Kapitel 6.20.7).

6.20.12 Einwirkender Prozess: Zersetzung von Organika (ELB)

Das FEP betrifft die Zersetzung von organischen Bestandteilen der Abfälle, Moderatormaterialien, Asphaltdichtungen der Verschlussbauwerke und Kohlenwasserstoffen im Wirtsgestein.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Geräte und Fahrzeuge enthalten Kunststoffe. Die Zersetzung von Kunststoffen erfolgt jedoch sehr langsam. Diese Auswirkungen auf Geräte und Fahrzeuge haben keine sicherheitstechnische Bedeutung während der Betriebsphase.

6.20.13 Einwirkender Prozess: Einbringen von Buffer und Versatz (ELB)

Das Einbringen von Buffer und Versatz erfolgt während des Einlagerungsbetriebes bzw. während der Verschließung der Grubenräume im Rückbau.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die für die Versatzarbeiten erforderlichen Bergbaumaschinen gehören zur Komponente „Fahrzeuge".

Versagen von Bergbaumaschinen: Bei den Arbeiten können Bergbaumaschinen durch menschliche und technische Fehler beschädigt werden.

6.20.14 Einwirkender Prozess: Erstellen und Verschließen einer Erkundungsbohrung (ELB)

Das FEP umfasst die Prozesse beim Stoßen und Verschließen einer Erkundungsbohrung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Versagen von Bergbaumaschinen: Bei den Arbeiten können Bergbaumaschinen durch menschliche und technische Fehler beschädigt werden.

6.20.15 Einwirkender Prozess: Errichten eines Verschlussbauwerkes (ELB)

Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und Widerlager eines Verschlussbauwerkes.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die für die Bauarbeiten erforderlichen Bergbaumaschinen gehören zur Komponente „Fahrzeuge".

Versagen von Bergbaumaschinen: Bei den Arbeiten können Bergbaumaschinen durch menschliche und technische Fehler beschädigt werden.

6.20.16 Einwirkender Prozess: Errichten eines Bohrlochverschlusses (Einlagerungsbohrung)

Vertikale Einlagerungsbohrlöcher werden durch einen Bohrlochverschluss abgedichtet. Das FEP beschreibt das Einbringen der Dichtelemente und der Widerlager.

Der Bohrlochverschluss ist oberhalb des Ausbaus im Bohrloch angeordnet.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen:

Die für die Arbeiten erforderlichen Bergbaumaschinen gehören zur Komponente „Fahrzeuge".

Versagen von Bergbaumaschinen: Bei den Arbeiten können Bergbaumaschinen durch menschliche und technische Fehler beschädigt werden.

6.20.17 Einwirkender Prozess: Radioaktiver Zerfall (ELB)

Das FEP beschreibt Kernumwandlungsprozesse von Radionukliden unter Aussendung von Strahlung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt. Der Prozess hat keine unmittelbaren Auswirkungen auf Fahrzeuge.

6.20.18 Einwirkender Prozess: Radiolyse

Unter Radiolyse versteht man die Veränderung chemischer Verbindungen durch die Einwirkung ionisierender Strahlung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt. Der Prozess hat keine unmittelbaren Auswirkungen auf Fahrzeuge.

6.20.19 Einwirkender Prozess: Wärmestrom (ELB)

Wärme wird von den eingelagerten Endlagergebinden und vom Gebirge abgegeben und in nicht abgeworfenen Teilen des Grubengebäudes über Wetter in die Atmosphäre transportiert. Die Wärmeentwicklung wird bei der Auslegung technischer Komponenten berücksichtigt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Der Wärmestrom ändert die Temperatur und Umgebungsbedingungen. Die Fahrzeuge sind für die Temperaturen des Einlagerungsbetriebs ausgelegt, so dass Beschädigungen mit sicherheitstechnischer Bedeutung während der Betriebsphase nicht zu erwarten sind.

6.20.20 Einwirkender Prozess: Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen (ELB)

Als Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen wird die Aufnahme bzw. der Verlust von Wasser zwischen und in den Strukturschichten von Tonmineralen bezeichnet. Im eingespannten Zustand führt es zur Quelldruckänderung, während im freien Zustand eine Volumenänderung resultiert.

Tonminerale kommen in Verschlussbauwerken, im Versatz, als Wirtsgestein Ton, im Wirtsgestein Kristallin auf Klüften und im Salinar vor.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Geräte, Anlagen und Transportfahrzeuge etc. haben keine tonhaltigen Komponenten.

6.20.21 Einwirkender Prozess: Alteration der Auflockerungszone (ELB)

Die Alteration umfasst chemische und mineralogische Umwandlungen der ALZ durch den Wetterstrom oder zutretende Lösung.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Prozess und Komponente sind entkoppelt. Der Prozess hat keine unmittelbaren Auswirkungen auf Fahrzeuge.

6.20.22 Einwirkender Prozess: Thermische Expansion oder Kontraktion (ELB)

Unter thermischer Expansion oder Kontraktion wird die Volumenzunahme bzw. Volumenabnahme eines Stoffes verstanden, die durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen wird. Aufgrund der wärmeentwickelnden Abfälle ist der Prozess in Einlagerungsbereichen von besonderer Bedeutung.

Geräte, Anlagen und Transportfahrzeuge im Endlagerbergwerk sind gegen thermomechanische Spannungen ausgelegt.

Mögliche resultierende Einwirkungen von Innen: keine

Der Wärmestrom ändert die Temperatur und Umgebungsbedingungen. Die Fahrzeuge sind für die thermomechanischen Lasten des Einlagerungsbetriebs ausgelegt, so dass Beschädigungen mit sicherheitstechnischer Bedeutung während der Betriebsphase nicht zu erwarten sind.

7 Zusammenfassung und Bewertung der EVI

Für die vier Teilbereiche − Anlagen über Tage (üT), Schächte und Rampen (S+R), Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche (G) sowie Einlagerungsbereiche (ELB) − wurden für alle Komponenten und auftretenden Prozesse Einwirkungen von Innen abgeleitet. Sie sind in der Tabelle 7-1 zusammengefasst.

Tab. 7-1: EVI für alle Teilbereiche

Einwirkung von Innen	üT	S+R	G	ELB
Versagen der Schachtfördertechnik^{+}	3	6		
Versagen der Seilbahntechnik	3	5		
Versagen des Schachtausbaus		9		
Versagen des Rampenausbaus		9		
Versagen der Schachteinbauten		5		
Versagen der Rampeneinbauten		6		
Versagen des Ausbaus Infrastrukturbereiche*			9	
Versagen des Streckenausbaus*			9	24
Versagen des Ausbaus im Querschlag*				9
Versagen des Versatzes			3	3
Versagen des Buffers				8
Versagen technischer Einrichtungen^{+}			12	10
Versagen des Schacht- oder Rampenverschlusses		8		
Versagen des Verschlusses im Bereich von Störungszonen			10	
Versagen des Streckenverschlusses			11	10
Versagen des Verschlusses einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung		7	9	8
Versagen des Bohrlochverschlusses				7
Versagen der Bohrlocheinbauten				3
Versagen des Schlittens				2
Versagen des Ausbausystems vertikales Bohrloch				10
Versagen des Ausbausystems horizontales Bohrloch				7
Versagen des Endlagergebindes			1	4
Versagen des Transferbehälters			1	1
Versagen von Bergbaumaschinen		(10)	(10)	10
Versagen von Transportfahrzeugen		(2)	(2)	2
Versagen von Einlagerungsmaschinen		(2)	(2)	2
Abschalungen und Löser		3	6	5
Flutung der Grubenbaue		6	6	5
Feuer		18	11	8

Explosion		14	10	7
Bläser		8	5	5
Freisetzung radioaktiver Stoffe		8	5	5
Freisetzung chemotoxischer Stoffe		9	6	8

(x) Zahlen in Klammern sind indirekt ermittelt; z. b. werden Fahrzeuge nur in Einlagerungsbereichen diskutiert, sind aber auch in den Grubenbauen außerhalb der ELB vorhanden.

+ Schachtfördertechnik gehört auch zu den technischen Einrichtungen, wird aber separat behandelt.

* Diese drei EVI werden im Folgenden unter dem EVI „Versagen des Streckenausbaus“ subsumiert.

7.1 Versagen der Schachtfördertechnik

Das Versagen der Schachtfördertechnik kann zur Beschädigung der Schachteinbauten und des Schachtausbaus führen. Die Folgen sind Beschädigungen der Schachtkontur, Fahrbahnen und Fördereinrichtungen, eingeschränkte Arbeits- und Betriebssicherheit und ggf. der Absturz des Förderkorbes. Ein Absturz des Förderkorbes kann zu einem Versagen eines Endlagergebindes und somit zu Freisetzungen von radioaktiven und chemotoxischen Stoffen führen.

7.2 Versagen der Seilbahntechnik

Das Versagen der Seilbahntechnik kann zur Beschädigung der Rampeneinbauten und des Rampenausbaus führen. Die Folgen sind Beschädigungen der Rampenkonturen, Fahrbahnen und Fördereinrichtungen, eingeschränkte Arbeits- und Betriebssicherheit und ggf. die Beschädigung von Endlagerbehältern.

7.3 Versagen des Schachtausbaus

Das Versagen des Schachtausbaus führt zur Beschädigung von Schachteinbauten und -fördertechnik. Es können Teile des Ausbaus ausbrechen und herabstürzen. Die Folgen sind u. a. die Zerstörung von Fahrbahnen und der Ausfall von Bewetterung, Kommunikationstechnik, Versorgungs- und Überwachungseinrichtungen. Förderung und Transport werden behindert. Für die Schadensanalyse, Wartung und Reparatur wird der Betrieb im Grubenbereich unterbrochen.

Wenn die Stützwirkung des Ausbaus beeinträchtigt wird, können sich Gesteinsauflockerungen und Gesteinsverbruch ausweiten sowie Lösungs- und Gaszutritte auftreten.

7.4 Versagen des Rampenausbaus

Das Versagen des Rampenausbaus führt zur Beschädigung von Rampeneinbauten und -fördertechnik. Es können Teile des Ausbaus ausbrechen und herabstürzen. Die Folgen sind u. a. die Zerstörung von Fahrbahnen und der Ausfall von Bewetterung, Kommunikationstechnik, Versorgungs- und Überwachungseinrichtungen. Förderung und Transport werden behindert. Für die Schadensanalyse, Wartung und Reparatur wird der Betrieb im Grubenbereich unterbrochen.

Wenn die Stützwirkung des Ausbaus beeinträchtigt wird, können sich Gesteinsauflockerungen und Gesteinsverbruch ausweiten sowie Lösungs- und Gaszutritte auftreten.

7.5 Versagen der Schachteinbauten

Das Versagen der Schachteinbauten kann die Vorsorgung und Betriebsüberwachung beeinträchtigen. Die Folgen sind u. a. der Ausfall

- der Bewetterung,
- der Stromversorgung,
- der Kommunikationstechnik sowie
- der Versorgungs- und Überwachungseinrichtungen.

Förderung kann behindert, Arbeits- und Betriebssicherheit können beeinträchtigt werden. Für die Schadensanalyse, Wartung und Reparatur wird der Betrieb im Grubenbereich unterbrochen.

Wenn die Stützwirkung des Ausbaus beeinträchtigt wird, können sich Gesteinsauflockerungen und Gesteinsverbruch ausweiten sowie Lösungs- und Gaszutritte auftreten (siehe Kombinationen von EVI, Kapitel 8).

7.6 Versagen der Rampeneinbauten

Das Versagen der Rampeneinbauten kann die Versorgung und Betriebsüberwachung beeinträchtigen. Die Folgen sind u. a. der Ausfall

- der Bewetterung,
- der Stromversorgung,
- der Kommunikationstechnik sowie
- der Versorgungs- und Überwachungseinrichtungen, und
- die Beschädigung von Fahrbahnen und Schienen.

Transport kann behindert, Arbeits- und Betriebssicherheit können beeinträchtigt werden. Für die Schadensanalyse, Wartung und Reparatur wird der Betrieb im Grubenbereich unterbrochen.

Wenn die Stützwirkung des Ausbaus beeinträchtigt wird, können sich Gesteinsauflockerungen und Gesteinsverbruch ausweiten (siehe Kombinationen von EVI, Kapitel 8).

7.7 Versagen des Streckenausbaus

Das Versagen des Streckenausbaus führt zur Beschädigung von technischen Einrichtungen in den Grubenbauen, inklusive Infrastrukturbereichen. Es können Teile des Ausbaus ausbrechen und herabstürzen. Die Folgen sind u. a. die Zerstörung von Fahrbahnen und der Ausfall

- der Bewetterung,
- der Stromversorgung,
- der Kommunikationstechnik sowie
- der Versorgungs- und Überwachungseinrichtungen.

Transport kann behindert, Arbeits- und Betriebssicherheit können beeinträchtigt werden. Für die Schadensanalyse, Wartung und Reparatur wird der Betrieb im Grubenbereich unterbrochen.

Wenn die Stützwirkung des Ausbaus beeinträchtigt wird, können sich Gesteinsauflockerungen und Gesteinsverbruch ausweiten sowie Lösungs- und Gaszutritte auftreten (siehe Kombinationen von EVI, Kapitel 8).

7.8 Versagen des Versatzes

Der Versatz stabilisiert die Konturbereiche und/oder den Ausbau von abgeworfenen Grubenbereichen. Wenn die Stabilisierung beeinträchtigt ist, können sich Ausbau- und Gesteinsauflockerungen ausweiten sowie Lösungs- und Gaszutritte auftreten.

In abgeworfenen Einlagerungsbereichen können sich größere Gasmengen bilden und entzünden. Der Versatz wirkt als eine Flammensperre der Ausbreitung eines Feuers entgegen. Falls sich durch Einbaufehler oder Setzungen größere Firstspalte bilden, können sich Flammen ausbreiten, kritische Gasgemische explodieren und infolge dessen Verschlussbauwerke beschädigt werden.

7.9 Versagen des Buffers

Der Buffer stabilisiert die Konturen von abgeworfenen Einlagerungsbereichen. Wenn die Konturstabilisierung beeinträchtigt ist, können sich Gesteinsauflockerungen ausweiten sowie Lösungs- und Gaszutritte auftreten.

Der Buffer verzögert durch seine geringe hydraulische Leitfähigkeit die Korrosion des Endlagergebindes durch vordringende Wässer/Lösungen. Das Versagen des Buffers kann die Korrosion unerkannter Behälterdefekte beschleunigen oder ausweiten und die Ausbreitung volatiler Radionuklide in der Betriebsphase verursachen. Der Buffer hält zudem Radionuklide, die in der Betriebsphase aus Behältern mit unerkannten Defekten freigesetzt werden können, im unmittelbaren Umfeld des Einlagerungsortes zurück. Durch das Versagen des Buffers wäre die Rückhaltung beeinträchtigt und die Kontamination des Einlagerungsbereiches möglich. Das kann sowohl die Unterbrechung des Einlagerungsbetriebs und das vorzeitige Abwerfen von Grubenbereichen bedingen oder auch die Rückholung von Endlagergebinden beeinträchtigen.

Die Abschirmwirkung des Buffers ist nur vor dem Abwerfen der Einlagerungsstrecke sicherheitstechnisch relevant. Durch eine eingeschränkte Abschirmwirkung kann die Strahlenexposition des Betriebspersonals erhöht werden.

7.10 Versagen technischer Einrichtungen

Das Versagen technischer Einrichtungen kann zu Unterbrechungen des Betriebsablaufes führen. Das Versagen technischer Einrichtungen umfasst u. a.

- die Beschädigung von Fahrbahnen und Schienen,
- den Ausfall der Bewetterung,
- den Ausfall der Stromversorgung,
- den Ausfall der Kommunikationstechnik sowie
- den Ausfall der Versorgungs- und Überwachungseinrichtungen.

Der Betriebsablauf kann behindert, die Arbeits- und Betriebssicherheit können beeinträchtigt werden. Schadensanalyse, Wartung und Reparatur verlängern die Betriebsunterbrechung im betroffenen Grubenbereich.

7.11 Versagen des Schachtverschlusses

Das Versagen des Schachtverschlusses kann Lösungs- und Gaszutritte in der späten Betriebsphase verursachen. Der Verschluss muss entweder repariert oder ersetzt werden, wodurch sich die Betriebsphase verlängert.

7.12 Versagen des Rampenverschlusses

Das Versagen des Rampenverschlusses kann Lösungs- und Gaszutritte in der späten Betriebsphase verursachen. Der Verschluss muss entweder repariert oder ersetzt werden, wodurch sich die Betriebsphase verlängert.

7.13 Versagen des Verschlusses im Bereich von Störungszonen

Das Versagen eines Verschlusses im Bereich von Störungszonen kann starke Lösungs- und Gaszutritte während der Betriebsphase verursachen und Unterbrechungen des Einlagerungsbetriebes nach sich ziehen.

7.14 Versagen des Streckenverschlusses

Die Streckenverschlüsse stabilisieren die Konturbereiche. Wenn die Stabilisierung beeinträchtigt ist, können sich Gebirgsauflockerungen ausweiten sowie Lösungs- und Gaszutritte auftreten.

Das Versagen eines Streckenverschlusses kann Lösungs- und Gasbewegungen zwischen abgeworfenen und offenen Grubenbereichen während der Betriebsphase ermöglichen. Es können sowohl Lösungen und Gase als auch Radionuklide, die während der Betriebsphase aus Behältern mit unerkannten Defekten freigesetzt werden, aus abgeworfenen Einlagerungsbereichen in offene Grubenbereiche gelangen. Infolge dessen wären die Rückhaltung im Einlagerungsbereich beeinträchtigt und die Kontamination eines offenen Grubenbereiches möglich. Dadurch können Unterbrechungen des Einlagerungsbetriebes oder das vorzeitige Abwerfen von Grubenbereichen notwendig werden.

7.15 Versagen des Verschlusses einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung

Das Versagen des Verschlusses einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung kann Lösungs- und Gaszutritte während der Betriebsphase verursachen. Falls eine Erkundungs- oder Überwachungsbohrung einen Einlagerungsbereich mit dem übrigen Grubengebäude verbindet und der Verschluss der Bohrung versagt, können Radionuklide, Lösungen und Gase in das übrigen Grubengebäude freigesetzt werden. Infolge dessen wäre die Rückhaltung im Einlagerungsbereich beeinträchtigt und die Kontamination eines noch offenen Grubenbereiches möglich. Dadurch können Unterbrechungen des Einlagerungsbetriebes oder das vorzeitige Abwerfen von Grubenbereichen notwendig werden.

7.16 Versagen des Bohrlochverschlusses

Das Versagen des Bohrlochverschlusses (einer Einlagerungsbohrung) kann die Ausbreitung von Radionukliden, die während der Betriebsphase aus Endlagergebinden mit unerkannten Defekten freigesetzt werden, in die Einlagerungsbereiche ermöglichen. Das hätte Kontaminationen zur Folge. Infolge dessen können Unterbrechungen des Einlagerungsbetriebes oder das vorzeitige Abwerfen von Einlagerungsbereichen notwendig werden.

7.17 Versagen der Bohrlocheinbauten

Das Versagen der Bohrlocheinbauten eines horizontalen KurzBohrlochs (Schienen) kann dazu führen, dass die Einlagerung von Endlagergebinden behindert wird. Dies kann eine Unterbrechung des Einlagerungsbetriebes bedingen.

7.18 Versagen des Schlittens

Das Versagen des Schlittens kann dazu führen, dass die Einlagerung eines Endlagerbehälters (CASTOR-Behälter in Streckenlagerung) behindert wird. Dies kann eine Unterbrechung des Einlagerungsbetriebes bedingen.

7.19 Versagen des Ausbausystems vertikales Bohrloch

Das Versagen des Ausbausystems (Außenliner) beeinträchtigt die Konturstabilisierung des Bohrlochs und somit den Einbau des Buffers. Das Versagen des Ausbausystems

(Innenliner und/oder Buffer) kann die Einlagerung bzw. Rückholung von Endlagerbehältern beeinträchtigen. Beide Effekte können eine Unterbrechung des Einlagerungsbetriebs bedingen.

Der Buffer als Teil des Ausbausystems verzögert durch seine geringe hydraulische Leitfähigkeit die Korrosion des Endlagerbehälters durch ggf. vordringende Wässer/Lösungen. Das Versagen des Buffers kann die Korrosion unerkannter Behälterdefekte ausweiten oder beschleunigen und die Ausbreitung volatiler Radionuklide in der Betriebsphase verursachen. Der Buffer hält zudem Radionuklide, die in der Betriebsphase aus Behältern mit unerkannten Defekten freigesetzt werden, im Bohrloch zurück. Durch das Versagen des Buffers wäre die Rückhaltung beeinträchtigt und die Kontamination des Bohrlochs möglich.

Das Versagen des Ausbausystems (Innenliner, Sand und/oder Bohrlochschleuse) verringert ebenso die Abschirmung der Endlagergebinde. Dadurch ist die Arbeits- und Betriebssicherheit (Strahlenschutz) eingeschränkt.

7.20 Versagen des Ausbausystems horizontales Bohrloch

Das Versagen des Ausbausystems (Liner) beeinträchtigt die Konturstabilisierung des Bohrlochs und beeinträchtigt somit die Einlagerung des Endlagergebindes. Das kann eine Unterbrechung des Einlagerungsbetriebs bedingen oder die Rückholbarkeit der Endlagerbehälter beeinträchtigen.

Das Ausbausystem verzögert die Korrosion des Endlagerbehälters durch ggf. vordringende Wässer/Lösungen. Der Zutritt von Lösungen kann die Korrosion unerkannter Behälterdefekte ausweiten oder beschleunigen.

Das Versagen des Ausbausystems (Bohrlochschleuse) verringert die Abschirmung der Endlagergebinde. Das kann die Arbeits- und Betriebssicherheit (Strahlenschutz) einschränken.

7.21 Versagen des Endlagergebindes

Behälter mit unerkannten Defekten können bei Einwirkungen versagen, für die bestimmungsgemäß gefertigte Behälter ausgelegt sind. Bezüglich der Bewertung der Konsequenzen des Versagens des Endlagergebindes muss zwischen den verschiedenen Endlagergebinde-Typen, der Art des Versagens (Dichtung, Tragzapfen) und der jeweiligen Betriebsphase, in der das Versagen auftritt, unterschieden werden.

Bei selbstabschirmenden Behältern der Typen POLLUX oder CASTOR kann ein Versagen des Dichtsystems (Behälterdichtung und Schweißnaht) in allen Betriebsphasen zu einer Freisetzung von Radionukliden und einer Unterbrechung des Betriebes führen. Falls die Tragzapfen der Behälter versagen, könnte dies bei Umladevorgängen bzw. bei der Einlagerung zu einem Behälterabsturz führen. Hierbei könnte der Behälter und/oder die Krananlage beschädigt werden.

Nicht abgeschirmte Behälter (z. B. Brennstabkokillen (BSK)) werden im Endlagerbergwerk in Transferbehältern transportiert. Falls der Behälter während des Transportes im Transferbehälter versagt (z. B. mechanische Einwirkung infolge eines Unfalls), bleiben die freigesetzten Radionuklide im Transferbehälter eingeschlossen. Während des Einlagerungsvorgangs muss der Transferbehälter aber geöffnet werden und die im Behälterinnenraum eingeschlossenen Radionuklide werden freigesetzt. Falls die Dichtung eines Behälters während des Einlagerungsvorganges im Bohrloch versagt (z. B. durch Anschlagen an Bohrlochwand/Liner, Behälterabsturz) kann es zur Freisetzung von Radionukliden kommen. Aufgrund der Strahlenschutzmaßnahmen (dichtes Andocken des Transferbehälters an die Bohrlochschleuse, Schließen der Schleuse ohne Freisetzung von Radionukliden) hat dies aber keine Auswirkungen auf das Betriebspersonal.

Das Versagen des Endlagergebindes verursacht die Ausbreitung von (volatilen) Radionukliden in der Betriebsphase. Die Kontaminationen im Einlagerungsbereich bedingen die Unterbrechung des Einlagerungsbetriebs oder beeinträchtigen die Rückholung von Endlagergebinden. Das Versagen eines Gebindes verzögert bzw. verhindert den Transport und den Einlagerungsbetrieb und beeinträchtigt die Arbeits- und Betriebssicherheit.

7.22 Versagen des Transferbehälters

Die Konsequenzen des Versagens des Transferbehälters hängen davon ab, welche Behälterkomponenten (Dichtung, Behälterschleuse, Tragzapfen) in welcher Betriebsphase versagen.

Bei einem Versagen der Tragzapfen kann es bei Umladevorgängen bzw. bei der Einlagerung zum Behälterabsturz kommen. Dabei kann der Transferbehälter beschädigt werden. Ob dieses Ereignis radiologische Konsequenzen hat, hängt davon ab, ob das Endlagergebinde im Inneren des Transferbehälters beschädigt wird und dabei Radionuklide freigesetzt werden.

Auch ein Versagen der Dichtung des Transferbehälters hat nur dann radiologische Konsequenzen, wenn auch das Endlagergebinde im Inneren beschädigt ist.

Falls eine Behälterschleuse defekt ist, kann der Einlagerungsvorgang nicht in der vorgesehenen Weise durchgeführt werden.

Das Versagen eines Transferbehälters – beispielsweise das Versagen einer Schleuse des Behälters – verzögert bzw. verhindert den Transport und den Einlagerungsbetrieb und beeinträchtigt die Arbeits- und Betriebssicherheit. Das bedingt eine Unterbrechung des Einlagerungsbetriebs.

7.23 Versagen von Bergbaumaschinen

Das Versagen von Bergbaumaschinen kann zu Unfällen führen, die die Funktion von Einbauten und technischen Einrichtungen einschränken. Außerdem werden u. U. der Ausbau und die Konturen beschädigt.

Es können chemotoxische und brennbare Stoffe aus den Maschinen freigesetzt werden, die die Arbeits- und Betriebssicherheit einschränken und eine Brandlast bilden. Diese Prozessabläufe werden den Betriebsablauf unterbrechen.

7.24 Versagen von Transportfahrzeugen

Das Versagen von Transportfahrzeugen kann zu Unfällen führen, die die Funktion von Fahrzeugen, Fahrbahnen, Einbauten und technischen Einrichtungen einschränken. Zusätzlich sind im Teilsystem „Schächte und Rampen“ bei den Transportsystemen Fehlfunktionen des Portalkrans an den Füllörtern der Rampe zu betrachten. Außerdem können Endlagergebinde, Transferbehälter, Ausbau und Konturbereiche beschädigt werden.

Es können chemotoxische und brennbare Stoffe aus den Transportfahrzeugen freigesetzt werden, die die Arbeits- und Betriebssicherheit einschränken und eine Brandlast bilden. Diese Prozessabläufe werden den Betriebsablauf unterbrechen.

Der Absturz eines Endlagergebindes mit unerkannten Defekten könnte ggf. radioaktive Stoffe freisetzen und den Einlagerungsbetrieb verzögern.

7.25 Versagen von Einlagerungsmaschinen

Das Versagen von Einlagerungsmaschinen kann zu Unfällen führen, welche 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.

Es können Endlagergebinde, Transferbehälter, Ausbau und Konturbereiche beschädigt werden. Außerdem können chemotoxische und brennbare Stoffe freigesetzt werden, die die Arbeits- und Betriebssicherheit einschränken und eine Brandlast bilden. Diese Prozessabläufe werden den Betriebsablauf unterbrechen.

Der Absturz eines Endlagergebindes mit unerkannten Defekten könnte ggf. radioaktive Stoffe freisetzen und den Einlagerungsbetrieb verzögern. Beim Absturz einer Kokille in ein teilweise beladenes Bohrloch können bereits eingelagerte Behälter beschädigt werden.

7.26 Abschalungen und Löser

Abschalungen und Löser können herabstürzen und dann Fahrzeuge und Fahrbahnen beschädigen. Abschalungen und Löser können zudem Einbauten und technische Einrichtungen, die an der Streckenwandung befestigt sind (z. B. Traversen und Lutten), und technische Einrichtungen, die im Grubenbau verlaufen (z. B. Versorgungsleitungen), beschädigen. Aus Versorgungsleitungen können chemotoxische und brennbare Stoffe freigesetzt werden, die die Arbeits- und Betriebssicherheit weiter einschränken und eine Brandlast bilden. Abschalungen, Löser und die Folgeerscheinungen werden den Betriebsablauf unterbrechen.

Falls ein Löserfall ein Transportfahrzeug mit Endlagergebinde trifft, könnten ggf. radioaktive Stoffe freigesetzt werden und den Einlagerungsbetrieb verzögern.

7.27 Flutung der Grubenbaue

Die Flutung von Grubenbauen kann die Funktionen von Einbauten und technischen Einrichtungen einschränken sowie Ausbau und Gebirgsbereiche schädigen. Eine Flutung und deren Folgeerscheinungen werden die Arbeits- und Betriebssicherheit einschränken und den Betriebsablauf unterbrechen.

Eine Flutung kann das Verfüllen und Verschließen von Grubenbauen und Bohrungen verhindern und somit ein unplanmäßiges und vorzeitiges Abwerfen von Grubenbauen verursachen, das den bestimmungsgemäßen Betriebsablauf und Einlagerungsbetrieb verändert und beeinträchtigt.

7.28 Feuer

Feuer kann Funktionen von Einbauten und technischen Einrichtungen einschränken sowie Endlagergebinde und Transferbehälter (Abschirmung durch Polyethylen), Ausbau und Konturbereiche beschädigen. Dadurch können chemotoxische Stoffe freigesetzt werden. Ein Feuer und seine Folgeerscheinungen werden die Arbeits- und Betriebssicherheit einschränken und den Betriebsablauf unterbrechen.

Ein Feuer kann Gebirgsbereiche schädigen und deren Barrierefunktion beeinträchtigen. Es kann ein unplanmäßiges und vorzeitiges Abwerfen von Grubenbauen verursachen, das den bestimmungsgemäßen Betriebsablauf und Einlagerungsbetrieb verändert und beeinträchtigt.

7.29 Explosion

Eine Explosion kann Funktionen von Einbauten und technischen Einrichtungen einschränken sowie Endlagergebinde und Transferbehälter, Ausbau und Gebirgsbereiche schädigen. Die Stabilität des betroffenen Grubenbereiches kann beeinträchtigt werden. Eine Explosion und deren Folgeerscheinungen werden die Arbeits- und Betriebssicherheit einschränken und den Betriebsablauf unterbrechen.

Eine Explosion kann Gebirgsbereiche schädigen und deren Barrierefunktion beeinträchtigen. Es kann ein unplanmäßiges und vorzeitiges Abwerfen von Grubenbauen verursachen, das den bestimmungsgemäßen Betriebsablauf und Einlagerungsbetrieb verändert und beeinträchtigt.

7.30 Bläser

Bläser (Gasexhalationen mit hohem Druck und hohen Volumenströmen) können die Funktionen von Einbauten und technischen Einrichtungen einschränken sowie Ausbau und Gebirgsbereiche schädigen. Es können brennbare Gase zutreten, die Feuer bzw. Explosionen auslösen. Bläser und deren Folgeerscheinungen werden die Arbeits- und Betriebssicherheit einschränken und den Betriebsablauf unterbrechen.

Bläser können die Barrierefunktion des betroffenen Gebirgsbereiches sowie den bestimmungsgemäßen Betriebsablauf und Einlagerungsbetrieb verändern und beeinträchtigen.

7.31 Freisetzung radioaktiver Stoffe

Freigesetzte Radionuklide werden – soweit zulässige Grenzwerte nicht überschritten werden – mit den Wettern oder Grubenwässern abgeführt, oder sie kontaminieren Grubenbereiche. Kontaminationen werden beseitigt. Dadurch werden die Arbeits- und Betriebssicherheit eingeschränkt und der Betriebsablauf unterbrochen.

Falls die Beseitigung der Kontaminationen nicht möglich ist, werden kontaminierte Grubenbereiche abgeworfen und verschlossen. Das unplanmäßige und vorzeitige Abwerfen von Grubenbauen kann den bestimmungsgemäßen Betriebsablauf und Einlagerungsbetrieb verändern und beeinträchtigen.

7.32 Freisetzung chomotoxischer Stoffe

Freigesetzte chemotoxische Stoffe werden – soweit zulässige Grenzwerte nicht überschritten werden – mit den Wettern oder Grubenwässern abgeführt oder kontaminieren Grubenbereiche. Kontaminationen werden beseitigt. Dadurch werden die Arbeits- und Betriebssicherheit eingeschränkt und der Betriebsablauf unterbrochen.

Falls die Beseitigung der Kontaminationen nicht möglich ist, werden kontaminierte Grubenbereiche abgeworfen und verschlossen. Das unplanmäßige und vorzeitige Abwerfen von Grubenbauen kann den bestimmungsgemäßen Betriebsablauf und Einlagerungsbetrieb verändern und beeinträchtigen.

8 Kombinationen von Einwirkungen

Auf Grund von Plausibilitätsüberlegungen ist davon auszugehen, dass durch die Kombination von Prozessen und Komponenten alleine – siehe die bisherigen Kapitel 3 bis Kapitel 6 – die möglichst weitreichende Erfassung von sicherheitstechnisch relevanten Ereignissen (EVI) nicht sichergestellt ist. Entsprechend dem methodischen Ansatz im Vorhaben BASEL ist es sinnvoll, weitere Kombinationen von FEP bzw. Ereignissen zu betrachten. So sind z. B. folgende Kombinationen denkbar:

- Prozess/Komponente – EVI/EVA
- EVI – EVI
- EVI – EVA

Nach Abwägung möglicher Konsequenzen dieser Kombinationen wurde entschieden, die Kombination Prozess/Komponente – EVI bzw. EVA nicht detaillierter zu untersuchen. Es wird davon ausgegangen, dass Kombinationen EVI – EVI und EVI – EVA zu schwerer wiegenden, sicherheitstechnisch relevanten Konsequenzen führen. Um diese Annahme zu unterlegen, wurden exemplarisch die EVI-EVI-Kombinationen für das Teilsystem "Einlagerungsbereiche" sowie EVI-EVA-Kombinationen für das Erdbeben und die Flutung des Grubengebäudes durch Hochwasser abgeleitet, geprüft und bewertet, vgl. Anhang A und Anhang B.

Bei der exemplarischen Prüfung und Bewertung von EVI-EVI-Kombinationen wurde zunächst nur eine Wechselwirkung unterstellt, wenn die EVI als Teil einer Wirkkette räumlich und zeitlich vernetzt sind.[7] Im Ergebnis haben sich drei unterschiedliche Bewertungsgruppen ergeben:

- EVI, die Teil einer direkten kausalen Wirkkette sind und ein weiteres EVI bedingen können (z. B. das Versagen einer Einlagerungsmaschine und Versagen eines Endlagerbehälters → Freisetzung radioaktiver Stoffe).
- EVI, deren Versagen nicht kausal miteinander verknüpft ist, die aufgrund ihrer räumlichen Anordnung trotzdem miteinander wechselwirken (z. B. das Versagen des Streckenausbaus und das Versagen einer technischen Einrichtung → Versagen einer Halterung am Ausbau). Es wird kein weiteres EVI ausgelöst,

[7] Ein alternativer methodischer Ansatz wäre es, Kombinationen unabhängig vom direkten kausalen oder logistischen Zusammenhang zuzulassen – ausgenommen völlig unplausible Kombinationen, wie z. B. Versagen der Schachtförderanlage und Versagen des Buffers im Einlagerungsbereich.

aber die Intensität des EVI verändert (z. B. das Ausreißen einer Halterung kann bereits defekten Ausbau weitergehend beschädigen).

- EVI, die aufgrund der räumlichen und/oder logistischen Trennung nicht direkt miteinander wechselwirken und daher auch kein weiteres EVI auslösen (z. B. das Versagen des Transportfahrzeugs im offenen Einlagerungsbereich und das Versagen des Versatzes im abgeworfenen Einlagerungsbereich).

In Auswertung der exemplarischen Teilanalyse der EVI-EVI-Kombinationen für das Teilsystem „Einlagerungsbereiche“ (Anhang A) wird zusammenfassend festgestellt, dass

- keine neuen EVI abgeleitet werden.
- eine Vielzahl neuer Kausalketten für EVI abgeleitet werden (z. B. Abschalungen und Löser → Versagen eines Transportfahrzeuges → Feuer → Versagen des Endlagerbehälters → Freisetzung radioaktiver Stoffe).
- die Ausprägung bzw. Intensität eines EVI verändert werden kann.

Eine jede Kombination von EVI führt zu einer Betriebsunterbrechung und beeinflusst damit auch Betriebsabläufe in entfernten Grubenbereichen. EVI-EVI-Kombinationen lassen nun die Ableitung der Freisetzung von Radionukliden aus den Endlagergebinden in der Betriebsphase zu. Bei der Ableitung durch Kombinationen von Prozessen und Komponenten können Freisetzungen von Radionukliden nur bei Einwirkungen auf Behälter mit unerkannten Defekten auftreten, siehe Kapitel 6. Bei Kombinationen von EVI können anforderungsgerecht gefertigte Behälter infolge von EVI beschädigt und Radionuklide freigesetzt werden.

Es können auch Kombinationen von mehreren EVI erfolgen, die alle als Teil einer Wirkkette räumlich und zeitlich vernetzt sind. Eine mehrstufige Wirkkette ergibt sich beispielsweise durch folgende Kausalitäten: Feuer → Versagen der Einlagerungsmaschine → Behälterabsturz → Versagen des Endlagergebindes → Freisetzung von Radionukliden. Solche mehrstufigen Wirkketten wurden bei der exemplarischen Analyse der EVI-EVI-Kombinationen nicht systematisch abgeleitet, da dieses den zeitlichen Rahmen sprengen würde.

Außerdem werden auch Einwirkungen von Außen (EVA) zu Betriebsunterbrechungen im Endlagerbergwerk führen (Anlage B). Direkte Einwirkungen auf die Teilsysteme des Grubengebäudes haben nur die EVA

- Erdbeben und

- Flutung des Grubengebäudes durch Hochwasser.

Das Erdbeben (in auslegungsüberschreitender Intensität) sowie die Flutung des Grubengebäudes können zum Versagen von allen Endlagerkomponenten führen. Die Kombinationen dieser EVA mit allen abgeleiteten EVI führen in Einlagerungsbereichen zu keinen neuen, sicherheitstechnisch relevanten EVI. Durch eine EVA – wie ein Erdbeben – können aber eine Vielzahl von Endlagerkomponenten gleichzeitig und in den Teilsystemen versagen.

Eine EVA kann auch das Versagen einer Endlagerkomponente auslösen, wie z. B. das Versagen des Schachtausbaus als Folge eines Erdbebens.

Eine Kombination der beiden EVA kann auch zu keinem neuen, sicherheitstechnisch relevanten Ereignis führen, da jedes EVA für sich zur Aufgabe des Endlagers führen kann.

9 Maßnahmen zur Beherrschung von Einwirkungen von Innen

Grundlage für das Sicherheitskonzept eines Endlagers ist die Analyse aller Betriebsabläufe und möglicher sicherheitsrelevanter Abweichungen vom bestimmungsgemäßen Betrieb (Betriebsstörungen und Störfälle) sowie der resultierenden Konsequenzen. Auf dieser Grundlage werden Sicherheitsziele definiert, denen organisatorische und technische Maßnahmen zur Prävention und zur Mitigation zugeordnet werden. In Anlehnung an die Sicherheitsanforderungen für Kernkraftwerke /BMUB 15/ sind für die Betriebsphase eines Endlagers in vier Sicherheitsebenen gestaffelte Maßnahmen zu planen (*defence in depth*). Die Maßnahmen sollen sicherheitsrelevante Einwirkungen von Innen (EVI) minimieren und/oder ihre Auswirkungen soweit einschränken, so dass die gesetzlichen Grenzwerte eingehalten werden.

Die Identifizierung der Maßnahmen basiert auf der in Kapitel 3 bis 6 durchgeführten umfassenden Systemanalyse, aus welcher die EVI auf das Endlagerbergwerk systematisch abgeleitet wurden. Einwirkungen von Außen (EVA) wurden entsprechend den standortspezifischen Bedingungen aus Regelwerken entnommen und nicht abgeleitet.

Gemäß Sicherheitsanforderungen /BMU 10/ sind auf Basis von Sicherheitsanalysen EVI und EVA festzulegen, welche als Auslegungsstörfälle zu bewerten und bei der Auslegung des Bergwerks zu berücksichtigen sind. Menschliches Fehlverhalten ist als mögliche Ursache eines Störfalls zu betrachten. Gering wahrscheinliche Ereignisse sind nicht als Auslegungsstörfälle einzustufen, aber zu bewerten und gfs. Maßnahmen zur Verringerung ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit bzw. Auswirkungen vorzuschlagen. Demnach basiert das Sicherheitskonzept auf dem Management der identifizierten übergreifenden Einwirkungen, Sicherheitsziele sind den identifizierten Einwirkungen zugeordnet und diese Einwirkungen müssen durch Prävention und/oder Mitigation (Gegenmaßnahmen beim Eintreten eines EVI) beherrschbar sein.

Im Ergebnis der abgeleiteten EVI werden exemplarisch organisatorische und technische Maßnahmen benannt, die der Prävention (Vermeidung) und/oder der Mitigation (Beherrschung) der möglichen EVI in einem Endlagerbergwerk für wärmeentwicklende Abfälle dienen. Dabei wurde vor allem auf das Vorgehen und die Erfahrungen in den Endlagerbergwerken Asse, Morsleben und Konrad sowie auf die Planungen für ein Endlager für wärmeentwicklende Abfälle am Standort Gorleben zurückgegriffen. Einschränkungen ergeben sich zum einen dadurch, dass das Sicherheitsmanagement zwar immer projektspezifisch ist, aber im Vorhaben BASEL generische Endlagerkonzepte mit einem geringen Detaillierungsgrad betrachtet werden. Zum anderen werden

im Vorhaben BASEL Untersuchungen für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle durchgeführt, während an den o. g. Standorten mittel- und schwachradioaktive Abfälle eingelagert sind. Die Liste der Gegenmaßnahmen kann daher keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben.

Um Störungen des bestimmungsgemäßen Betriebs eines Bergwerkes zu vermeiden oder die Auswirkungen auf das Endlagersystem einzuschränken bzw. zu minimieren, sind in verschiedenen Grubenbereichen des Endlagerbergwerkes (Schächte/Rampen, Grubenbaue, Einlagerungsbereiche) teils unterschiedliche Gegenmaßnahmen für den Erhalt bzw. die Wiederherstellung der Betriebssicherheit möglich bzw. erforderlich. Mögliche Gegenmaßnahmen beim Auftreten von EVI sind in den Anlagen C bis E für die verschiedenen Grubenbereiche aufgeführt.

Es wird die EVI nebst dem Kapitel der Ableitung und die auslösende Ursache genannt. Dann werden mögliche Gegenmaßnahmen zur Prävention und Mitigation aufgeführt. Letztlich wird auf mögliche Auswirkungen dieser Gegenmaßnahmen auf das Endlagersystem in der Nachverschlussphase, d. h. auf die Langzeitsicherheit, hingewiesen.

10 Bewertung der Methodik und Verwertung der Ergebnisse

10.1 Grundlagen

Dem kerntechnischen Regelwerk gemäß basiert das Vorgehen bei der Bewertung der Sicherheit für den Betrieb eines Endlagers auf der Beschreibung der Anlagen und der Betriebsabläufe. Im Regelwerk sind einige zu bewertende Einwirkungen (EVI und EVA) bereits vorgegeben, darüber hinaus besteht die Anforderung, anlagenspezifisch weitere Einwirkungen abzuleiten. Die Identifizierung möglicher Einwirkungen und deren Bewertung beruht in diesem Fall vor allem auf bergbaulichen Erfahrungen und erfolgt in der Regel über einen Top-down-Ansatz ohne detaillierte Dokumentation und Begründung. Die Vorgehensweise bei der Identifizierung und Ableitung der Einwirkungen ist in diesem Fall schwer nachvollziehbar. Insbesondere kann nicht gezeigt werden, dass die Liste der definierten Einwirkungen umfassend und abdeckend ist.

Da die EVA aus den standortspezifischen Standortgegebenheiten abgeleitet werden müssen und diese bei generischen Konzepten nicht bekannt sind, konnte im FuE-Vorhaben BASEL keine systematische Ableitung erfolgen. Ziel der Entwicklung eines systematischen Ansatzes für die Ableitung von EVI war daher zunächst eine umfassende und nachvollziehbare Darstellung des Endlagers, seiner Wechselwirkungen mit der Geosphäre und Biosphäre sowie der wesentlichen Betriebsabläufe. Hierfür wurde auf eine Vorgehensweise zurückgegriffen, die beim Langzeitsicherheitsnachweis für ein Endlager bereits internationaler Standard ist, indem für die Ableitung von EVI ein FEP-Katalog[8] für die Betriebsphase eines Endlagers erstellt wurde. Die Anwendung dieser FEP-Methode auf den Betrieb eines Endlagers stellt einen neuartigen, in dieser Form bisher nicht angewendeten Ansatz dar. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die betrieblichen Abläufe deutlich mehr Prozesse und Komponenten umfassen als Entwicklungen in der Nachverschlussphase.

10.2 Der Bottom-up-Ansatz (FEP-Katalog)

Die „Features“ bilden alle Komponenten und deren Eigenschaften des Bergwerks und der Tagesanlagen ab. Weiterhin werden die relevanten Bestandteile und Eigenschaften der Geosphäre und Biosphäre als Komponenten dargestellt. Bei der Definition der „Features“ besteht dabei Ermessensspielraum, wie stark sie als FEP differenziert und

[8] FEP … features, events, processes

gegeneinander abgegrenzt werden. Denkbar sind FEP, die Bestandteile einer Komponente beschreiben, z. B. Behälterdeckel, oder FEP, die komplette Komponenten beschreiben, wie z. B. Endlagergebinde. Vorteil des ersten Vorgehens ist die sehr differenzierte und transparente Darstellbarkeit der Einwirkungen auf einzelne Komponentenbestandteile. Dies ist im Vorhaben BASEL aber nicht erforderlich, da hier zunächst eine Methodik entwickelt und erprobt werden soll. Primäres Ziel des Vorhabens BASEL war die umfassende Systembeschreibung und systematische Anwendung der FEP-Methodik für die Betriebsphase. Bezüglich des möglichen Detaillierungsgrades der Endlagerkomponenten bestehen im Vorhaben BASEL Einschränkungen, da zum einen alle betrachteten Endlagerkonzepte generischer Art sind und von vielen Komponenten bisher nur Grobkonzepte vorliegen. Zum anderen wurden mehrere Endlagerkonzepte für unterschiedliche Wirtsgesteine simultan und gleichberechtigt berücksichtigt. Daher stellen die betrachteten „Features“ im Vorhaben BASEL Gesamtkomponenten oder Komponentengruppen dar, die alle betrachteten Endlagerkonzepte abdecken.

Die umfassende Erfassung der relevanten Komponenten des Endlagersystems im FEP-Katalog kann durch eine „Vollständigkeitsprüfung“ an Hand der Systembeschreibungen gezeigt werden. Die umfassende Erfassung zu betrachtender Prozesse und Ereignisse ist schwieriger zu belegen, da entsprechende Prüfmaßstäbe fehlen. Dies betrifft weniger die betrieblichen Abläufe, die klar definiert und beschrieben werden können. Insbesondere bei unspezifischen mechanischen, hydraulischen, thermischen, chemischen und biologischen Einwirkungen fehlt aber ein Maßstab für die Vollständigkeit. Hier kann nur über Plausibilitäten, logische Verknüpfungen sowie die Analyse von Prozessabläufen und Kausalketten argumentiert werden. Für den FEP-Katalog, der die Grundlage für die Ableitung der EVI darstellt, kann letztlich grundsätzlich keine Vollständigkeit belegt werden. Gleichwohl wird im FEP-Katalog nachvollziehbar dokumentiert, welche Aspekte in welcher Weise berücksichtigt wurden. Insgesamt liefert der FEP-Katalog die Informationen, die für die Ableitung der EVI erforderlich sind, und stellt daher eine geeignete Grundlage für die Erprobung der Methodik dar.

10.3 Ableitung der Einwirkungen von Innen (EVI)

Die methodische Vorgehensweise bei der Ableitung der EVI basiert darauf, dass alle Komponenten und alle Prozesse bzw. Ereignisse miteinander wechselwirken und mögliche Konsequenzen bewertet werden (Bottom-up-Ansatz). Dadurch wird sichergestellt, dass das im FEP-Katalog abgebildete Endlagersystem komplett berücksichtigt wird

und darüber hinaus auch umfassend denkbare Ereignisse abgeleitet werden können. Die Dokumentation und Nachvollziehbarkeit aller Schritte hat dabei große Bedeutung. So werden die Komponenten-Prozess-Verknüpfungen erläutert und die Bewertung der Konsequenzen und die Ableitung der EVI begründet. Die streng systematische Verknüpfung aller Komponeten mit allen Prozessen folgt dem Bottom-up-Ansatz, aus dem die Ableitung der EVI mit Erfahrungen aus Bergbau- und Endlagerprojekten sowie Plausibilitäten und logischen Verknüpfungen begründet werden kann. Die Bewertung der Konsequenzen basiert auf „Expert Judgement“. Die Anwendung eines FEP-Katalogs eignet sich sehr gut, diese auf Expertenwissen beruhenden Entscheidungen nachvollziehbar zu dokumentieren. Die systematische Vorgehensweise verspricht damit eine bessere Nachvollziehbarkeit als alternativ verwendete „Top-down“-Ansätze.

Da bereits für den FEP-Katalog, der die Basis für die EVI-Ableitung darstellt, eine „Vollständigkeit“ nicht gezeigt werden kann, kann dieser Nachweis auch für die EVI-Ableitung nicht erfolgen. Es kann aber plausibel begründet werden, dass alle Informationen des FEP-Katalogs umfassend berücksichtigt wurden.

Eine Erweiterung der methodischen Vorgehensweise durch Kombinationen mehrerer EVI sowie von EVI und EVA, hat keine neuen EVI ergeben, sondern nur die Intensität bereits identifizierter EVI verändert. Dieses Ergebnis untermauert die These, dass die Liste der aus der Verknüpfung von Komponenten und Prozessen bereits abgeleiteten EVI umfassend ist.

10.4 Maßnahmen zur Prävention und Mitigation von EVI

Aufbauend auf der Bewertung von EVI können Maßnahmen diskutiert und abgeleitet werden, die dazu dienen, diese EVI zu verhindern (Prävention) oder im Fall ihres Eintretens Auswirkungen auf das Endlager zu mildern (Mitigation). Inwieweit die Präventionsmaßnahmen die Eintrittswahrscheinlichkeit eines EVI reduzieren können, kann erst anlagenspezifisch bewertet werden.

Die Ableitung und frühzeitige Umsetzung solcher Maßnahmen ist für den sicheren Bau und Betrieb eines Endlagers unerläßlich und Teil des Sicherheitskonzepts für die Betriebsphase eines Endlagers.

10.5 Bewertung der Methodik (allgemein)

Im Gegensatz zu Vorgehensweisen bei Sicherheitskonzepten in der Kerntechnik werden Wirkungsketten durch die Methode nicht erarbeitet und berücksichtigt, da nur die unmittelbare Wirkung von einem Prozess auf eine Komponente untersucht wird. Die Liste der abgeleiteten EVI können als Ausgangspunkt für Ereignisablauf- und Fehlerbaumanalysen verwendet werden.

Da in Deutschland nach einem Standort für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle in Steinsalz, Tongestein sowie in Kristallingestein gesucht wird, wurde festgelegt, die Analyse der EVI auf der Grundlage eines umfassenden FEP-Kataloges durchzuführen. Es hat sich gezeigt, dass dies eine sehr komplexe Aufgabe ist, da eine Vielzahl von technischen Konzepten die in diesen Wirtsgesteinen möglich ist. Da eine Beschränkung auf ein Wirtsgestein oder ein Endlagersystem nicht beabsichtigt war, wurde für das Vorhaben BASEL kein Referenzkonzept festgelegt. Stattdessen wurde eine Auswahl von technischen Konzepten verwendet /GRS 20b/, die gewährleistet, dass alle Wirtsgesteine bei der Analyse einbezogen sind. Die entwickelte Methode wurde auf alle ausgewählten Konzepte gleichzeitig angewendet. Eine separate Betrachtung der Wirtsgesteine bzw. Endlagersysteme wurde nicht vorgenommen.

Die geogenen Prozesse in den verschiedenen Wirtsgesteinen haben unterschiedliche Ausprägungen (z. B. hohe Konvergenz im Salz, fast keine Konvergenz im Kristallin) und dementsprechend sind auch die bergbaulichen Maßnahmen beim Auffahren des Bergwerks (z. B. Ausbau) und die Endlagerkonzepte sind sehr unterschiedlich. Die betrieblichen Abläufe sind in den verschiedenen Endlagerkonzepten deshalb sehr verschieden. Die gleichzeitige Berücksichtigung all dieser Endlagersysteme stellte sich als nachteilig heraus und erschwerte im Vorhaben BASEL vor allem die umfassende und nachvollziehbare Darstellung der Wechselwirkungen zwischen den Komponenten und Prozessen. Eine Analyse (Ableitung von EVI) sollte zukünftig für einzelne Endlagerkonzepte in unterschiedlichen Wirtsgesteinen immer separat, aber für alle möglichen Endlagersysteme gleichrangig erfolgen.

10.6 Bewertung der Methodik hinsichtlich Schwachstellen

Bei der strikten Anwendung der Methode wurden Schwachstellen identifiziert. Durch die Einteilung des Endlagersystems in Komponenten und Prozesse wird das Gesamtsystem Endlager in kleinere, scheinbar handhabbare Einheiten zerlegt. Dieses ist vor allem bei der gleichzeitigen Anwendung mehrerer technischer Konzepte schwierig.

Durch die methodisch vorgegebene, ausschließliche Berücksichtigung des unmittelbaren Zusammenhanges von einem Prozess mit einer Komponente war die Ableitung der EVI eine große Herausforderung. Als eine Ursache wurden nicht ausreichend klare Definitionen und Abgrenzungen untereinander identifiziert, z.B. technische Einrichtungen oder Fahrzeuge. Um dieses Problem zu lösen, wurde eine Vielzahl von methodischen Festlegungen getroffen, die während der Anwendung ergänzt wurden und dann systematisch zu berücksichtigen waren. Die Folgen waren vielfältig: Die Ableitung der EVI musste häufig iterativ korrigiert werden, wodurch mehrfache Wiederholungen, Inkonsistenzen und Fehler auftraten. Der für die Dokumentation einer Kausalkette vorteilhafte Ansatz, Querverweise von einer Komponenten-Prozess-Verknüpfung zu anderen Prozessen und/oder Komponenten aufzunehmen und für die Ableitung von EVI zu berücksichtigen, konnte aufgrund der Komplexität der Wechselwirkungen nicht systematisch und konsequent durchgeführt werden. Um diese Schwierigkeiten zu reduzieren, sollten weitergehende Analysen zur Ableitung von EVI zukünftig für einzelne Endlagerkonzepte separat erfolgen.

10.7 Verwertung der Ergebnisse

Die im Vorhaben BASEL gewählte, textbasierte Dokumentation steht dem Potenzial der leicht verständlichen und nachvollziehbaren Methode entgegen. Allein aufgrund des Umfangs der Dokumentation und vieler textlicher Wiederholungen, die sich jedoch in Ursache und Wirkung im Endlagersystem unterscheiden können, ist die Nachvollziehbarkeit deutlich erschwert.

Zur Anwendung und Weiterentwicklung der Methodik wird vorgeschlagen, für die Ableitung von EVI eine Art der Dokumentation zu wählen, die mehrfaches Wiederholen identischer Zusammenhänge minimiert oder zumindest Zusammenhänge, Kausalität und Verknüpfungen schneller erkennen lässt. Im Rahmen von FEP-Analysen für die Langzeitsicherheit haben sich Datenbanken bewährt und sollte für die Ableitung von EVI in der Betriebsphase genutzt werden. Ziel muss es sein, wichtige Zusammenhänge unkompliziert zu dokumentieren. Darüber hinaus müssen bereits bestehende Verknüpfungen erkannt und mögliche Rückschlüsse aus Zusammenhängen übertragen werden.

Vorteil dieser systematischen Vorgehensweise ist die Nachvollziehbarkeit der Methode für die Ableitung von EVI, die insbesondere in Genehmigungsverfahren von großer Bedeutung ist. Außerdem kann die Plausibilität der Prüfung und Bewertung eines EVI dargelegt werden. Mit dem Vorhaben BASEL wurde die Anwendbarkeit der Methodik

auf die Betriebsphase eines Endlagers demonstriert und grundlegend bestätigt. Die Praktikabilität für den Anwender und auch die Nachvollziehbarkeit der Analyse in einem komplexen Endlagersystem wird aufgrund der stark ausgeprägten Systematik in Verknüpfung mit der konsequenten Einhaltung einer Vielzahl von methodischen Festlegungen, die wenig intuitiv aber systematisch zu berücksichtigen sind, und der gewählten textbasierten Dokumentation allerdings erschwert und sollte u. a. in diesen Aspekten weiterentwickelt werden.

Letztlich sind die Auswirkungen der identifizierten EVI und der den Regelwerken entnommenen EVA anhand der vorläufigen Sicherheitsanalysen für die Betriebssicherheit und für die Langzeitsicherheit darzustellen. Während diese Bewertung für die Betriebssicherheit Gegenstand vieler betrieblicher Sicherheitsanalysen nach dem „Top-down"-Ansatz ist, gibt es derzeit keine entsprechenden Analyse der Auswirkungen von EVI und EVA auf die Langzeitsicherheit eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle. Diese Analyse wird auf der Basis des gewählten „Bottom-up"-Ansatzes möglich und war einer der Schwerpunkte im Vorhaben BASEL.

Für die sich weiterentwickelnden, vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen im Standortauswahlverfahren sind betriebliche Sicherheitsanalysen erforderlich und die Abschätzungen zu den Auswirkungen von EVI und EVA bei Prävention und Mitigation für die betrachteten Standortregionen bzw. Standorte vorzunehmen. Für die Abschätzungen können die im Vorhaben BASEL erarbeiteten Erkenntnisse als Grundlage verwendet werden.

Literaturverzeichnis

/BMU 10/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle. 21 S., Bonn, 30. September 2010.

/BMUB 15/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB): Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke vom 22. November 2012, BAnz AT 30.03.2015 B2, Neufassung vom 3. März 2015.

/GRS 11/ Bollingerfehr, W., Filbert, W., Lerch, C., Tholen, M.: Endlagerkonzepte. Bericht zum AP 5, Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben. − GRS-272, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH; Köln, 2011.

/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, ISBN 978-3-939355-57-1, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln, 2012.

/GRS 20a/ Bewertung der Abhängigkeiten zwischen dem sicheren Bau und Betrieb eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle und der Langzeitsicherheit. Synthesebericht des Vorhabens BASEL, GRS-617. Setember 2020.

/GRS 20b/ Beschreibung der generischen Endlagersysteme für das Vorhaben BASEL. Teilbericht des Vorhabens BASEL, GRS-618. Setember 2020.

/TEC 15/ 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 15b/ Lommerzheim, A. & Jobmann, M.: Endlagerkonzept sowie Verfüll- und Verschlusskonzept für das Endlagerstandortmodell NORD. Projekt ANSICHT: Methodik und Anwendungsbezug eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes für ein HAW-Endlager im Tonstein, Technischer Bericht, DBE TECHNOLOGY GmbH, Ber.-Nr.: TEC-14-2015-TB, Peine, 2015.

/TEC 18/ Bollingerfehr, W. et al.: KOSINA − 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 19/ Leonhardt, J., Bertrams, N., Herold, P. & Lommerzheim, A.: Vorhaben BASEL. Beschreibung eines generischen Modells der Tagesanlagen für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle. − Technischer Bericht, BGE TEC 2019-32, BGE TECHNOLOGY GmbH, Peine, 2019.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1 Formalisiertes Vorgehen zur Ermittlung von EVI innerhalb eines Teilsystems (Schritt 1) 4

Abb. 2.2 Zuordnung von Komponenten zu den Teilsystemen unter Tage. 8

Tabellenverzeichnis

Tab. 3.1 Komponenten und Prozesse im Teilsystem „Anlagen über Tage“ 9

Tab. 4.1 Komponenten und Prozesse im Teilsystem „Schächte und Rampen“ 14

Tab. 5.1 Komponenten und Prozesse im Teilsystem „Grubenbaue“ 110

Tab. 6.1 Komponenten und Prozesse im Teilsystem „Einlagerungsbereiche“ 215

Anlage A: EVI-EVI-Kombinationen für das Teilsystem Einlagerungsbereiche

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Auswirkungen von Kombinationen zweier EVI – exemplarisch für das Teilsystem "Einlagerungsbereiche".

Die Tabelle ist wie folgt gegliedert:

- Spalte 1 und 2: EVI, die kombiniert werden
- Spalte 3: kombinierte Wirkungen bzw. Wechselwirkungen der EVI
- Spalte 4: Konsequenzen.

EVI 1	EVI 2	kombinierte Wirkungen / Wechselwirkungen	Konsequenzen
Versagen des Streckenausbaus	Versagen des Versatzes	Ein verstärkter Lösungszutritt sowie Abschalungen und Löser sind möglich.	Flutung des Grubengebäudes, Abschalungen und Löser
	Versagen des Buffers	Es können sich Auflockerungen im angrenzenden Gebirge und Wegsamkeiten bilden.	Freisetzung radioaktiver Stoffe, Freisetzung chemotoxischer Stoffe
	Versagen von technischen Einrichtungen	Versagen von Halterungen für Leitungen, Fundamente etc. können den Ausbau weitergehend beeinträchtigen.	Änderung der Intensität
	Versagen des Streckenverschlusses	Ausbau wird hier entfernt, keine direkten Wirkungen	
	Versagen des Verschlusses einer *Bohrung	keine	
	Versagen des Bohrlochverschlusses	keine	
	Versagen der Bohrlocheinbauten (TLB)	keine	
	Versagen des Schlittens (TLB)	keine	
	Versagen des Ausbausystem vertikales Bohrloch	keine	
	Versagen des Ausbausystems horizontales Bohrloch	keine	
	Versagen eines	keine	

	Endlagergebindes		
	Versagen eines Transferbehälters	herabstürzender Ausbau kann defekte Transferbehälter weitergehend beschädigen.	Änderung der Intensität
	Versagen von Bergbaumaschinen	Kollisionen können Ausbau weitergehend beeinträchtigen, herabstürzender Ausbau kann defekte Maschinen/Fahrzeuge weitergehend beschädigen.	Änderung der Intensität
	Versagen von Transportfahrzeugen		
	Versagen von Einlagerungsmaschinen		
	Abschalungen und Löser	Bei defektem Ausbau können Löser abschalen bzw. in die Strecke fallen und Fahrzeuge bzw. technische Einrichtungen beschädigen.	Versagen von Bergbaumaschinen, Versagen von Transportfahrzeugen, Versagen von Einlagerungsmaschinen, Versagen von technischen Einrichtungen
	Flutung der Grubenbaue	Beschädigung des Ausbaus kann zunehmen.	Änderung der Intensität, Unterbrechung des Einlagerungsbetriebs, Abschalungen und Löser
	Feuer		
	Explosion		
	Bläser		
	Freisetzung chemotoxischer Stoffe	keine	
	Freisetzung radioaktiver Stoffe	keine	
Versagen des Versatzes	Versagen des Buffers	Es entsteht eine Wegsamkeit. Ausbreitung von Radionukliden und chemotoxischen Stoffen aus Behältern mit unerkannten Defekten ist möglich.	Freisetzung radioaktiver Stoffe, Freisetzung chemotoxischer Stoffe
	Versagen von technischen Einrichtungen	technische Einrichtungen werden vor dem Einbringen des Versatzes zurückgebaut, keine Wirkung	
	Versagen des Streckenverschlusses	Es entsteht eine Wegsamkeit. Ausbreitung von Radionukliden und chemotoxischen Stoffen aus Behältern mit unerkannten Defekten ist möglich.	Freisetzung radioaktiver Stoffe, Freisetzung chemotoxischer Stoffe

Versagen des Verschlusses einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung	Lösungszutritt und Erosion des Versatzes möglich. Es entsteht eine Wegsamkeit. Ausbreitung von Radionukliden und chemotoxischen Stoffen aus Behältern mit unerkannten Defekten ist möglich.	Freisetzung radioaktiver Stoffe, Freisetzung chemotoxischer Stoffe
Versagen des Bohrlochverschlusses	Es entsteht eine Wegsamkeit. Ausbreitung von Radionukliden und chemotoxischen Stoffen aus Behältern mit unerkannten Defekten ist möglich.	Freisetzung radioaktiver Stoffe, Freisetzung chemotoxischer Stoffe
Versagen der Bohrlocheinbauten (TLB)	keine	
Versagen des Schlittens (TLB)	keine	
Versagen des Ausbausystems vertikales Bohrloch	keine	
Versagen des Ausbausystems horizontales Bohrloch	keine	
Versagen eines Endlagergebindes	zwischen Endlagergebinden und Versatz befindet sich ein Buffer, keine	
Versagen eines Transferbehälters	Transferbehälter nur während der Einlagerung im Einlagerungsbereich, keine	
Versagen von Bergbaumaschinen	In versetzten Grubenräumen sind keine Fahrzeuge und Maschinen, keine	
Versagen von Transportfahrzeugen		
Versagen von Einlagerungsmaschinen		
Abschalungen und Löser	eingeschränkte Stützwirkung vom Versatz kann weitere Abschalungen und Löser fördern.	Änderung der Intensität
Versagen von technischen Einrichtungen	technische Einrichtungen werden vor dem Einbringen des Versatzes rückgebaut, keine	
Flutung der Grubenbaue	Wegsamkeiten im Versatz und Lösung ermöglichen Schadstofftransport.	Freisetzung radioaktiver Stoffe, Freisetzung chemotoxischer Stoffe

	Feuer	Flammensperre eingeschränkt (Firstspalt), Feuer kann sich stärker ausbreiten.	Änderung der Intensität
	Explosion	Im Firstspalt können explosive Gasgemische entstehen, Explosion kann Versatz weitergehend beeinträchtigen, aber Versatz dämpft Explosion.	Änderung der Intensität
	Bläser	können Versatz weitergehend beeinträchtigen.	Änderung der Intensität
	Freisetzung chemotoxischer Stoffe	keine	
	Freisetzung radioaktiver Stoffe	keine	
Versagen des Buffers (Streckenlagerung)	Versagen von technischen Einrichtungen	technische Einrichtungen vor Einbau des Buffers rückgebaut	
	Versagen des Streckenverschlusses	Buffer und Streckenverschluss räumlich getrennt	
	Versagen des Verschlusses einer *Bohrung	keine Erkundungs- und Überwachungsbohrungen in Einlagerungsstrecken	
	Versagen des Bohrlochverschlusses	verschiedene Endlagerkonzepte.	
	Versagen der Bohrlocheinbauten (TLB)		
	Versagen des Schlittens (TLB)		
	Versagen des Ausbausystems vertikales Bohrloch		
	Versagen des Ausbausystems horizontales Bohrloch		
	Versagen eines Endlagergebindes	Ausbreitung von Radionukliden und chemotoxischen Stoffen wird gefördert.	Änderung der Intensität
	Versagen eines Transferbehälters	keine Transferbehälter in verfüllten Grubenbauen	
	Versagen von Bergbaumaschinen	keine Fahrzeuge in verfüllten Grubenbauen	
	Versagen von Transportfahrzeugen		

	Versagen von Einlagerungs-maschinen		
	Abschalungen und Löser	Firstspalt (eingeschränkte Stabilisierung) über Buffer kann weitere Abschalungen fördern. Firstspalt ermöglicht Ausbreitung volatiler Schad-stoffe	Änderung der Intensi-tät, Freisetzung radioakti-ver Stoffe, Freisetzung chemoto-xischer Stoffe
	Versagen von technischen Ein-richtungen	technische Einrichtungen vor Einbringen des Buffers zu-rückgebaut	
	Flutung der Gru-benbaue	Firstspalt über dem Buffer und Lösung ermöglichen Schad-stofftransport aus Behältern mit unerkannten Defekten.	Freisetzung radioakti-ver Stoffe, Freisetzung chemoto-xischer Stoffe
	Feuer	Flammensperre eingeschränkt (Firstspalt), Feuer kann sich stärker ausbreiten.	Änderung der Intensi-tät
	Explosion	explosive Gasgemische im Firstspalt, Explosion kann den Buffer weitergehend beein-trächtigen, aber der Buffer dämpft die Explosion	Änderung der Intensi-tät
	Bläser	Bläser können Buffer weiter-gehend beeinträchtigen.	Änderung der Intensi-tät
	Freisetzung chemotoxischer Stoffe	eingeschränkte Rückhaltung, Ausbreitung kann sich ver-stärken	Änderung der Intensi-tät
	Freisetzung radi-oaktiver Stoffe		Änderung der Intensi-tät
Versagen von technischen Einrichtungen	Versagen des Strecken-verschlusses	technische Einrichtungen vor Einbau der Streckenver-schlüsse zurückgebaut	
	Versagen des Verschlusses ei-ner *Bohrung	räumlich getrennt	
	Versagen des Bohrloch-verschlusses	räumlich getrennt, keine technischen Einrichtungen in Einlagerungsbohrlöchern und -strecken	
	Versagen der Bohrloch-einbauten (TLB)		
	Versagen des Schlittens (TLB)		
	Versagen des Ausbausystems vertikales Bohr-loch		
	Versagen des		

	Ausbausystems horizontales Bohrloch		
	Versagen eines Endlagergebindes		
	Versagen eines Transferbehälters	herabstürzende Einrichtungen können Transferbehälter weitergehend beschädigen.	Änderung der Intensität
	Versagen von Bergbaumaschinen	Kollision kann Beschädigung bedingen, herabstürzende Einrichtungen können Maschinen weitergehend beschädigen.	Änderung der Intensität
	Versagen von Transportfahrzeugen		Änderung der Intensität
	Versagen von Einlagerungsmaschinen		Änderung der Intensität
	Abschalungen und Löser	weitergehende Beschädigung technischer Einrichtungen	Änderung der Intensität, Unterbrechung des Einlagerungsbetriebs
	Flutung der Grubenbaue		
	Feuer		
	Explosion		
	Bläser		
	Freisetzung chemotoxischer Stoffe	Ausbreitung volatiler Schadstoffe kann sich verstärken, z.B. bei Ausfall der Bewetterung.	Änderung der Intensität
	Freisetzung radioaktiver Stoffe		Änderung der Intensität
Versagen des Streckenverschlusses	Versagen des Verschlusses einer *Bohrung	räumlich und zeitlich getrennt	
	Versagen des Bohrlochverschlusses		
	Versagen der Bohrlocheinbauten (TLB)		
	Versagen des Schlittens (TLB)		
	Versagen des Ausbausystems vertikales Bohrloch		
	Versagen des Ausbausystems horizontales Bohr-		

	loch		
	Versagen eines Endlagergebindes		
	Versagen eines Transferbehälters		
	Versagen von Bergbaumaschinen	Kollision kann weitergehende Beschädigungen bedingen.	Änderung der Intensität
	Versagen von Transportfahrzeugen	keine Transportfahrzeuge in abgeworfenen Grubenbereichen.	
	Versagen von Einlagerungsmaschinen	keine Einlagerungsmaschinen in abgeworfenen Grubenbereichen.	
	Abschalungen und Löser	Strecken vor Verschlüssen komplett verfüllt, keine Abschalungen und Löser.	
	Flutung der Grubenbaue	Kombination ermöglicht Schadstofftransport aus Behältern mit unerkannten Defekten.	Freisetzung radioaktiver Stoffe, Freisetzung chemotoxischer Stoffe
	Feuer	Beschädigung der Streckenverschlüsse kann sich verstärken.	Änderung der Intensität
	Explosion		
	Bläser		
	Freisetzung chemotoxischer Stoffe	Ausbreitung von Schadstoffen kann sich verstärken.	Änderung der Intensität
	Freisetzung radioaktiver Stoffe		Änderung der Intensität
Versagen des Verschlusses einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung	Versagen des Bohrlochverschlusses	räumlich und zeitlich getrennt	
	Versagen der Bohrlocheinbauten (TLB)		
	Versagen des Schlittens (TLB)		
	Versagen des Ausbausystems vertikales Bohrloch		
	Versagen des Ausbausystems horizontales Bohrloch		
	Versagen eines Endlagergebindes		

	Versagen eines Transferbehälters		
	Versagen von Bergbau-maschinen		
	Versagen von Transport-fahrzeugen		
	Versagen von Einlagerungs-maschinen		
	Abschalungen und Löser	keine Abschalungen der Bohr-lochkontur	
	Flutung der Gru-benbaue	Kombination ermöglicht Schadstofftransport aus Be-hältern mit unerkannten De-fekten.	Freisetzung radioaktiver Stoffe, Freisetzung chemoto-xischer Stoffe
	Feuer	keine	
	Explosion	keine	
	Bläser	Kombination kann Feuer und Explosion verursachen.	Feuer, Explosion
	Freisetzung chemotoxischer Stoffe	möglicher Transportpfad.	Änderung der Intensi-tät
	Freisetzung radi-oaktiver Stoffe		Änderung der Intensi-tät
Versagen des Bohrlochver-schlusses	Versagen der Bohrlocheinbau-ten (TLB)	verschiedene Einlagerungs-konzepte	
	Versagen des Schlittens (TLB)		
	Versagen des Ausbausystems vertikales Bohr-loch	verstärkte Freisetzung von Schadstoffen aus Behältern mit unerkannten Defekten möglich.	Änderung der Intensi-tät
	Versagen des Ausbausystems horizontales Bohr-loch	verschiedene Einlagerungs-konzepte	
	Versagen eines Endlagergebindes	verstärkte Freisetzung von Schadstoffen aus Einlage-rungsbohrloch möglich.	Änderung der Intensi-tät
	Versagen eines Transferbehälters	zeitlich entkoppelt	
	Versagen von Bergbau-maschinen	fehlerhaftes Bohrloch und/oder fehlerhafter Ver-schluss	keine neuen EVI
	Versagen von Transportfahr-	keine	

	zeugen		
	Versagen von Einlagerungs-maschinen	fehlerhafte Einlagerung	Freisetzung radioaktiver Stoffe, Freisetzung chemotoxi-scher Stoffe
	Abschalungen und Löser	Kombination kann Ausbreitung von Schadstoffen aus Behältern mit unerkannten Defekten fördern.	Freisetzung radioaktiver Stoffe, Freisetzung chemotoxischer Stoffe
	Flutung der Grubenbaue	Kombination ermöglicht Schadstofftransport aus Behältern mit unerkannten Defekten.	Freisetzung radioaktiver Stoffe, Freisetzung chemotoxischer Stoffe
	Feuer	keine Zündung, keine	
	Explosion	geringes Porenvolumen, keine	
	Bläser	Beschädigungen können sich verstärken.	Änderung der Intensität
	Freisetzung chemotoxischer Stoffe	Ausbreitung von Schadstoffen aus dem Bohrloch kann sich verstärken.	Änderung der Intensität
	Freisetzung radioaktiver Stoffe		Änderung der Intensität
Versagen der Bohrloch-einbauten (TLB)	Versagen des Schlittens (TLB)	fehlerhafte bzw. unzulässige Einlagerung der Endlagerbehälter	Unterbrechung des Einlagerungsbetriebs
	Versagen des Ausbausystems vertikales Bohrloch	verschiedene Einlagerungs-konzepte	
	Versagen des Ausbausystems horizontales Bohrloch		
	Versagen eines Endlagergebindes	verstärkte Freisetzung von Schadstoffen möglich.	Änderung der Intensität
	Versagen eines Transferbehälters	verschiedene Einlagerungs-konzepte	
	Versagen von Bergbau-maschinen	fehlerhaftes Einlagerungs-bohrloch	Unterbrechung des Einlagerungsbetriebs
	Versagen von Transportfahr-zeugen	keine	
	Versagen von Einlagerungs-maschinen	fehlerhafte bzw. unzulässige Einlagerung der Endlagerbehälter	Unterbrechung des Einlagerungsbetriebs
	Abschalungen und Löser		Unterbrechung des Einlagerungsbetriebs
	Flutung der Gru-	keine Einlagerung möglich	Unterbrechung des

	benbaue		Einlagerungsbetriebs
	Feuer	keine	
	Explosion	keine	
	Bläser	keine	
	Freisetzung chemotoxischer Stoffe	keine	
	Freisetzung radioaktiver Stoffe		
Versagen des Schlittens (TLB)	Versagen des Ausbausystems vertikales Bohrloch	verschiedene Einlagerungskonzepte	
	Versagen des Ausbausystems horizontales Bohrloch		
	Versagen eines Endlagergebindes	Freisetzung von Schadstoffen, Kontamination	Unterbrechung des Einlagerungsbetriebs
	Versagen eines Transferbehälters	verschiedene Einlagerungskonzepte	
	Versagen von Bergbaumaschinen	keine	
	Versagen von Transportfahrzeugen	keine	
	Versagen von Einlagerungsmaschinen	Beschädigung des Schlittens, fehlerhafte Einlagerung	Unterbrechung des Einlagerungsbetriebs
	Abschalungen und Löser	Einlagerungsvorgang gestört, fehlerhafte Einlagerung	Unterbrechung des Einlagerungsbetriebs
	Flutung der Grubenbaue	keine Einlagerung möglich	Unterbrechung des Einlagerungsbetriebs
	Feuer	keine	
	Explosion	keine	
	Bläser	keine	
	Freisetzung chemotoxischer Stoffe	keine	
	Freisetzung radioaktiver Stoffe		
Versagen des Ausbausystems vertikales Bohrloch	Versagen des Ausbausystems horizontales Bohrloch	verschiedene Einlagerungskonzepte, keine Wirkung.	
	Versagen eines Endlagergebindes	Ausbreitung chemotoxischer und radioaktiver Stoffe	Freisetzung radioaktiver Stoffe,

			Freisetzung chemotoxischer Stoffe
	Versagen eines Transferbehälters	zeitlich entkoppelt	
	Versagen von Bergbaumaschinen	Ausbausystem kann weitergehend beschädigt werden.	Änderung der Intensität
	Versagen von Transportfahrzeugen	keine	
	Versagen von Einlagerungsmaschinen	fehlerhafte Einlagerung bei defektem Liner	Unterbrechung des Einlagerungsbetriebs
	Abschalungen und Löser	Außenliner stabilisiert Einlagerungsbohrlöcher, verstärkte Ausbreitung von Schadstoffen aus Behältern mit unerkannten Defekten bei defektem Liner	Freisetzung radioaktiver Stoffe, Freisetzung chemotoxischer Stoffe
	Flutung der Grubenbaue	Kombination fördert Schadstofftransport aus Behältern mit unerkannten Defekten.	Freisetzung radioaktiver Stoffe, Freisetzung chemotoxischer Stoffe
	Feuer	vollständige Verfüllung, keine	
	Explosion	vollständige Verfüllung, keine	
	Bläser	Beschädigungen können sich verstärken.	Änderung der Intensität
	Freisetzung chemotoxischer Stoffe	verstärkte Ausbreitung von Schadstoffen aus dem Bohrloch möglich.	Änderung der Intensität
	Freisetzung radioaktiver Stoffe		Änderung der Intensität
Versagen des Ausbausystems horizontales Bohrloch	Versagen eines Endlagergebindes	Ausbreitung von chemotoxischen und radioaktiven Stoffen.	Freisetzung radioaktiver Stoffe, Freisetzung chemotoxischer Stoffe
	Versagen eines Transferbehälters	Beim Andocken kann defekter Transferbehälter das Ausbausystem weiter beschädigen.	Änderung der Intensität
	Versagen von Bergbaumaschinen	Ausbausystem kann weitergehend beschädigt werden.	Änderung der Intensität
	Versagen von Transportfahrzeugen	keine	
	Versagen von Einlagerungsmaschinen	fehlerhafte Einlagerung bei defektem Liner	Unterbrechung des Einlagerungsbetriebs
	Abschalungen und Löser	Stahlliner stabilisieren Einlagerungsbohrlöcher, verstärkte Ausbreitung von Schadstoffen	Freisetzung radioaktiver Stoffe, Freisetzung chemoto-

		aus Behältern mit unerkannten Defekten bei defektem Liner	xischer Stoffe
	Flutung der Grubenbaue	Kombination fördert Schadstofftransport aus Behältern mit unerkannten Defekten.	Freisetzung radioaktiver Stoffe, Freisetzung chemotoxischer Stoffe
	Feuer	keine Verfüllung, weitergehende Beschädigung der Einbauten	Änderung der Intensität
	Explosion		Änderung der Intensität
	Bläser	.	Änderung der Intensität
	Freisetzung chemotoxischer Stoffe	verstärkte Ausbreitung von Schadstoffen aus dem Bohrloch möglich.	Änderung der Intensität
	Freisetzung radioaktiver Stoffe		Änderung der Intensität
Versagen eines Endlagergebindes	Versagen eines Transferbehälters	Ausbreitung chemotoxischer und/oder radioaktiver Stoffe während des Transports und der Handhabung	Freisetzung radioaktiver Stoffe, Freisetzung chemotoxischer Stoffe
	Versagen von Bergbaumaschinen	keine Bergbaumaschinen bei Transport und Handhabung der Gebinde	
	Versagen von Transportfahrzeugen	Ausbreitung chemotoxischer und/oder radioaktiver Stoffe während des Transports	Freisetzung radioaktiver Stoffe, Freisetzung chemotoxischer Stoffe
	Versagen von Einlagerungsmaschinen	Absturz, Ausbreitung chemotoxischer und/oder radioaktiver Stoffe während der Handhabung	Freisetzung radioaktiver Stoffe, Freisetzung chemotoxischer Stoffe
	Abschalungen und Löser	Ausbreitung chemotoxischer und/oder radioaktiver Stoffe werden gefördert,	Freisetzung radioaktiver Stoffe,
	Flutung der Grubenbaue	weitergehende Beschädigung der technischen Ausrüstung	Freisetzung chemotoxischer Stoffe
	Feuer		Änderung der Intensität
	Explosion		
	Bläser	keine	
	Freisetzung chemotoxischer Stoffe	sind kausal miteinander verknüpft.	keine neuen EVI
	Freisetzung radioaktiver Stoffe		keine neuen EVI
Versagen eines Transfer behälters	Versagen von Bergbaumaschinen	keine Bergbaumaschinen bei Transport von Endlagergebinden	

	Versagen von Transportfahrzeugen	Absturz der Transferbehälter, Endlagergebinde können beschädigt werden.	Freisetzung radioaktiver Stoffe,
	Versagen von Einlagerungsmaschinen		Freisetzung chemotoxischer Stoffe,
	Abschalungen und Löser	Transferbehälter und Endlagergebinde können weitergehend beschädigt werden.	Unterbrechung des Einlagerungsbetriebs,
	Flutung der Grubenbaue		Änderung der Intensität
	Feuer		
	Explosion		
	Bläser	keine	
	Freisetzung chemotoxischer Stoffe	Endlagergebinde mit unerkannten Defekten können volatile Schadstoffe freisetzen.	keine neuen EVI
	Freisetzung radioaktiver Stoffe		keine neuen EVI
Versagen von Bergbaumaschinen	Versagen von Transportfahrzeugen	Bei einem Unfall können chemotoxische Stoffe austreten, Feuer entstehen und Transferbehälter beschädigt werden.	Freisetzung chemotoxischer Stoffe, Feuer,
	Versagen von Einlagerungsmaschinen		Versagen eines Transferbehälters
	Abschalungen und Löser	Maschinen können weitergehend beschädigt werden.	Unterbrechung des Einlagerungsbetriebs,
	Flutung der Grubenbaue		Änderung der Intensität
	Feuer		
	Explosion		
	Bläser	keine	
	Freisetzung chemotoxischer Stoffe	Es können Feuer und explosive Gasgemische entstehen.	Feuer, Explosion
	Freisetzung radioaktiver Stoffe	räumlich entkoppelt, keine	
Versagen von Transportfahrzeugen	Versagen von Einlagerungsmaschinen	Bei einem Unfall können chemotoxische Stoffe austreten, Feuer entstehen und Transferbehälter beschädigt werden.	Freisetzung chemotoxischer Stoffe, Feuer, Versagen eines Transferbehälters
	Abschalungen und Löser	Fahrzeuge und Transferbehälter können weitergehend beschädigt werden.	Unterbrechung des Einlagerungsbetriebs,
	Flutung der Gru-		Änderung der Intensi-

	benbaue		tät
	Feuer		
	Explosion		
	Bläser	keine	
	Freisetzung chemotoxischer Stoffe	Es können Feuer und explosive Gasgemische entstehen.	Feuer, Explosion
	Freisetzung radioaktiver Stoffe	keine	keine neuen EVI
Versagen einer Einlagerungsmaschine	Abschalungen und Löser	Maschinen und Transferbehälter können weitergehend beschädigt werden.	Unterbrechung des Einlagerungsbetriebs,
	Flutung der Grubenbaue		Änderung der Intensität
	Feuer		
	Explosion		
	Bläser	keine	
	Freisetzung chemotoxischer Stoffe	Es können Feuer und explosive Gasgemische entstehen.	Feuer, Explosion
	Freisetzung radioaktiver Stoffe	keine	keine neuen EVI
Abschalungen und Löser	Flutung der Grubenbaue	Auflockerungzonen (Wegsamkeiten) und Lösungszufluss bedingen eine Unterbrechung der Einlagerung und fördern die Ausbreitung von Schadstoffen.	Unterbrechung des Einlagerungsbetriebs, Freisetzung radioaktiver Stoffe, Freisetzung chemotoxischer Stoffe
	Feuer	umfassende Beschädigungen von Gebirgsbereichen und technischen Komponenten, wie die Maschinen, Einrichtungen, Transferbehälter und Endlagergebinde	Änderung der Intensität, *Versagen von Maschinen, Fahrzeugen, technischen Einrichtungen, Behältern, Verschlüssen etc.*
	Explosion		
	Bläser		
	Freisetzung chemotoxischer Stoffe	keine	
	Freisetzung radioaktiver Stoffe	keine	
Flutung des Grubengebäudes	Feuer	keine, Feuer wird eingedämmt bzw. verhindert.	
	Explosion	keine, Explosion wird eingedämmt bzw. verhindert.	
	Bläser	keine	

	Freisetzung chemotoxischer Stoffe	Kombination fördert die Ausbreitung von Schadstoffen.	Änderung der Intensität
	Freisetzung radioaktiver Stoffe		Änderung der Intensität
Feuer	Explosion	Kombination von Feuer und Explosion kann alle technischen Komponenten weitergehend beschädigen.	*Versagen von Maschinen, Fahrzeugen, technischen Einrichtungen, Behältern, Verschlüssen etc.*
	Bläser	Kombination kann Verstärkung und Explosion verursachen.	Änderung der Intensität, Explosion
	Freisetzung chemotoxischer Stoffe	keine	
	Freisetzung radioaktiver Stoffe		
Explosion	Bläser	Kombination kann weitere Explosion und Feuer verursachen.	Änderung der Intensität, Feuer
	Freisetzung chemotoxischer Stoffe	keine	
	Freisetzung radioaktiver Stoffe		
Bläser	Freisetzung chemotoxischer Stoffe	keine	
	Freisetzung radioaktiver Stoffe		
Freisetzung chemotoxischer Stoffe	Freisetzung radioaktiver Stoffe	sind miteinander verknüpft.	keine neuen EVI

Anlage B: EVI-EVA-Kombinationen für das Erdbeben und die Flutung des Grubengebäudes durch Hochwasser

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Auswirkungen von Kombinationen der EVI und der EVA Erdbeben und Flutung des Grubengebäudes durch Hochwasser – exemplarisch für das Teilsystem "Einlagerungsbereiche".

Die Tabelle ist wie folgt gegliedert:

- Spalte 1: EVI, die kombiniert werden
- Spalte 2: EVI, die kombiniert werden
- Spalte 3: kombinierte Wirkungen bzw. Wechselwirkungen der EVI und der EVA
- Spalte 4: Konsequenzen.

Das EVA Flutung des Grubengebäudes durch Hochwasser wird in der Tabelle verkürzt als Flutung durch Hochwasser bezeichnet.

EVI	EVA	kombinierte Wirkungen / Wechselwirkungen	Konsequenzen
Versagen des Streckenausbaus	Erdbeben	Streckenausbau kann kollabieren und Gebirge einbrechen.	Abschalungen und Löser
	Flutung durch Hochwasser	Gebirge kann entfestigt und destabilisiert werden.	Abschalungen und Löser
Versagen des Versatzes	Erdbeben	keine	
	Flutung durch Hochwasser	kann Kanalisierung im Versatz hervorrufen bzw. verstärken.	Änderung der Intensität EVI
Versagen des Buffers (Streckenlagerung)	Erdbeben	keine	
	Flutung durch Hochwasser	kann Kanalisierung im Buffer hervorrufen bzw. verstärken.	Änderung der Intensität EVI
Versagen von technischen Einrichtungen	Erdbeben	kann technische Komponenten weitergehend beschädigen.	Änderung der Intensität EVI,
	Flutung durch Hochwasser		Unterbrechung des Einlagerungsbetriebs
Versagen eines Streckenverschlusses	Erdbeben	keine, aufgrund der Einspannung im Gebirge	
	Flutung durch Hochwasser	Bei Erosion von Baumaterial kann Beschädigung fort-	Änderung der Intensität EVI

		schreiten.	
Versagen des Verschlusses einer Erkundungsbohrung	Erdbeben	keine	
	Flutung durch Hochwasser	Bei Erosion von Baumaterial kann Beschädigung fortschreiten.	Änderung der Intensität EVI
Versagen eines Bohrlochverschlusses	Erdbeben	keine, aufgrund der Einspannung im Gebirge	
	Flutung durch Hochwasser	Bei Erosion von Baumaterial kann Beschädigung fortschreiten.	Änderung der Intensität EVI
Versagen der Bohrlocheinbauten (TLB)	Erdbeben	keine	
	Flutung durch Hochwasser	Bei Umlösung im Salzgestein kann Beschädigung fortschreiten.	Änderung der Intensität EVI
Versagen eines Schlittens (TLB)	Erdbeben	keine	
	Flutung durch Hochwasser	Bei Umlösung im Salzgestein kann Beschädigung fortschreiten.	Änderung der Intensität EVI
Versagen des Ausbausystems eines vertikalen Bohrlochs	Erdbeben	keine, aufgrund der Einspannung im Gebirge	
	Flutung durch Hochwasser	Bei Erosion von Baumaterial kann Beschädigung fortschreiten.	Änderung der Intensität EVI
Versagen des Ausbausystems eines horizontalen Bohrlochs	Erdbeben	keine, aufgrund der Einspannung im Gebirge	
	Flutung durch Hochwasser	Korrosion der Stahlliner und des Verschlussdeckels kann zunehmen.	Änderung der Intensität EVI
Versagen eines Endlagergebindes	Erdbeben	Endlagergebinde sind gegen das Bemessungserdbeben ausgelegt.	
	Flutung durch Hochwasser	Korrosion der Endlagergebinde kann zunehmen.	Änderung der Intensität EVI
Versagen eines Transferbehälters	Erdbeben	Transferbehälter sind gegen das Bemessungserdbeben ausgelegt.	
	Flutung durch Hochwasser	Korrosion der Transferbehälter kann zunehmen.	Änderung der Intensität EVI
Versagen einer Bergbaumaschine	Erdbeben	Bergbaubetrieb wird unterbrochen.	Unterbrechung des Einlagerungsbetriebs

	Flutung durch Hochwasser		
Versagen eines Transportfahrzeuges	Erdbeben	Bergbaubetrieb wird unterbrochen.	Unterbrechung des Einlagerungsbetriebs
	Flutung durch Hochwasser		
Versagen einer Einlagerungsmaschine	Erdbeben	Bergbaubetrieb wird unterbrochen.	Unterbrechung des Einlagerungsbetriebs
	Flutung durch Hochwasser		
Abschalungen und Löser	Erdbeben	Ohne Ausbau verstärken sich Verformungen von Gestein.	Änderung der Intensität EVI
	Flutung durch Hochwasser	Umlösung von Salzgestein kann Gebirge entfestigen und destabilisieren.	
Flutung des Grubengebäudes	Erdbeben	Rissinventar in gestörten Gebirgsbereichen und der Lösungszutritt kann sich erhöhen.	Änderung der Intensität EVI
	Flutung durch Hochwasser	Volllaufen des Bergwerks kann geotechnische Barrieren und Gebirgsbereiche erodieren bzw. chemische Alteration fördern.	Versagen des Streckenverschlusses, Versagen des Bohrlochverschlusses, Versagen des Ausbausystems horizontales Bohrloch, Versagen des Ausbausystems vertikales Bohrloch, Versagen des Buffers, Versagen des Versatzes
Feuer	Erdbeben	keine	
	Flutung durch Hochwasser	keine, Flutung dämmt ein bzw. verhindert Feuer.	
Explosion	Erdbeben	keine	
	Flutung durch Hochwasser	keine, Flutung dämmt ein bzw. verhindert Explosionen.	
Bläser	Erdbeben	Rissinventar in gestörten Gebirgsbereichen und Gaszutritt kann sich erhöhen.	Änderung der Intensität EVI, Abschalungen und Löser
	Flutung durch	keine, Flutung dämmt ein	

	Hochwasser	bzw. verhindert Bläser.	
Freisetzung chemotoxischer Stoffe	Erdbeben	Rissinventare in gestörten Gebirgsbereichen und technischen Barrieren sowie Ausbreitung von Schadstoffen kann sich erhöhen.	Änderung der Intensität EVI
	Flutung durch Hochwasser	Lösungen stellen Transportmedium für Schadstoffe dar, verdünnen aber auch Schadstoffkonzentrationen.	
Freisetzung radioaktiver Stoffe	Erdbeben	Rissinventare in gestörten Gebirgsbereichen und technischen Barrieren sowie Ausbreitung von Schadstoffen kann sich erhöhen.	Änderung der Intensität EVI
	Flutung durch Hochwasser	Lösungen stellen Transportmedium für Schadstoffe dar, verdünnen aber auch Schadstoffkonzentrationen.	

Anlage C: Gegenmaßnahmen zur Prävention und Mitigation von EVI in Einlagerungsbereichen

Die nachfolgende Tabelle zeigt Gegenmaßnahmen zur Prävention und Mitigation von EVI im Teilsystem "Einlagerungsbereiche".

Die Tabelle ist wie folgt gegliedert:

- Spalte 1: EVI
- Spalte 2: Auslöser der EVI
- Spalte 3 und 4: Maßnahmen zur Prävention der EVI – separiert nach organisatorisch und technisch
- Spalte 5: Auswirkung der Präventionsmaßnahmen auf das Endlagersystem in der Nachbetriebsphase
- Spalte 6 und 7: Maßnahmen zur Mitigation der EVI – separiert nach organisatorisch und technisch
- Spalte 8: Auswirkung der Mitigationsmaßnahmen auf das Endlagersystem in der Nachbetriebsphase.

Einlagerungsbereiche werden verkürzt als ELB bezeichnet.

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
Komponente 4.1.1: Ausbau Querschlag							
Versagen des Streckenausbaus	Technische Fehler bei Errichtung des Streckenausbaus (6.1.3)	QS-System geschultes Fachpersonal, Arbeitsanweisungen, Bauüberwachung		keine	Notfallpläne Schadensbegrenzung, Evakuierung, Schulung des Personals, Warnhinweise für Personal, zusätzliche Pumpen	Ertüchtigung des Ausbaus, Temporäre Abdichtung bei Lösungszutritt bis dauerhafte Abdichtung erreicht ist, Abwerfen der Strecke	Materialien beeinflussen die hydrchemischen Verhältnisse und ggf. Gasbildung. Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen. Ein vorzeitiges Abwerfen der Strecke vor der Einlagerung von Abfällen führt zu größeren ELB. Ein vorzeitiges Abwerfen nach der Einlagerung von Abfällen der Strecke führt zum nicht vorgesehenen Verschluss bzw. Verfüllung der Strecken.
	Handhabungsfehler oder technische Defekte beim Einlagerungsbetrieb (6.1.5)	QS-System regelmäßige Wartung des Ausbaus, Geschwindigkeitsbegrenzung Geschwindigkeitsdrosselung an Fahrzeugen, geschultes Personals	Ausreichend breite Fahrbahnen, gut einsehbare „Gefahrenstellen“, Fahrbahnen mit dämpfender Wirkung, verstärkter Ausbau der Verkehrsknoten, Hinweisschilder an Gefahrenstellen	Erhöhtes Ausbruchsvolumen, Änderung der hydrochemischen Verhältnisse			
	Metallkorrosion (Anker, Stahlnetz) (6.1.7)	QS-System regelmäßige Wartung des Ausbaus, Wetterüberwachung/ -steuerung	Korrosionsbeständige Materialien, Oberflächenbeschichtung, Drainagesysteme	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse, Bohrungen und Schlitze bilden Wegsamkeiten in der geologischen Barriere.			
	Zementkorrosion (6.1.8)						
	Fehlinterpretationen geologi-	QS-System Mehraugenprinzip,	-	keine			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	scher Daten (6.1.9)	ausreichend geologische Daten, konservative Annahme bei Dateninterpretation, Fortlaufende Erhebung und Auswertung					
	Spannungsänderungen durch Erdbeben (6.1.9)	QS-System Mehraugenprinzip bei Auslegung, Frühwarnsysteme (Notfallpläne)	Überwachungsmesstechnik	Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen			
	Fehlerhafte Einschätzung der Konvergenzrate (6.1.10)	QS-System Sicherheitsfaktor bei Auslegung berücksichtigen	Überwachungsmesstechnik	Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen			
	Fluidzutritt (Rissbildung oder Auswaschung) (6.1.11)	QS-System Überwachungsmesstechnik, Sicherheitsfaktor bei Auslegung berücksichtigen	Erkundungen zur Detektion von Fluidreservoiren, Einsatz von wasserdichtem Beton	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse. Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen			
	Wärmestrom (Überschreitung	QS-System Sicherheitsfaktor	Überwachungsmesstechnik	Fehler bei Bohrarbeiten können			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	der Grenztemperatur) (6.1.19)	bei Auslegung, Wetterüberwachung/ -steuerung		die Integrität des Gebirges beeinträchtigen			
	Rissbildungen durch thermische Expansion oder Kontraktion (6.1.22)	QS-System Wetterüberwachung/ -steuerung, Sicherheitsfaktor bei der Auslegung berücksichtigen	Überwachungsmesstechnik	Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen			
Komponente 4.1.2: Ausbau der Einlagerungsstrecken und -kammern							
Versagen des Streckenausbaus	Technische Fehler beim Errichten des Streckenausbaus (6.2.3)	QS-System Fachpersonal, Arbeitsanweisungen, Bauüberwachung	rasche Verfüllung der Strecke nach Abschluss der Einlagerung	keine	Notfallpläne Schadensbegrenzung, Evakuierung Personalschulung Warnhinweise für Personal zusätzliche Pumpen	Ertüchtigung des Streckenausbaus, Temporäre Abdichtung bei Lösungszutritt bis dauerhafte Abdichtung errichtet ist, Abwerfen der Strecke	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse und ggf. die Gasbildung. Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen. Ein vorzeitiges Abwerfen der Strecken vor der Einlagerung von Abfällen führt zu größeren ELB. Ein vorzeitiges
	Handhabungsfehler oder technische Defekte beim Einlagerungsbetrieb (6.2.5)	QS-System regelmäßige Wartung des Ausbau, Geschwindigkeitsbegrenzung, Geschwindigkeitsdrosselung an Fahrzeugen, Hinweisschilder an Gefahrenstellen, Ampelanlagen, zuverlässige Komponenten	ausreichend breite Fahrbahnen, gut einsehbare „Gefahrenstellen“, Fahrbahnen mit stoßdämpfender Wirkung, verstärkter Ausbau der Verkehrsknoten, Automatische Assistenzsysteme	Erhöhtes Ausbruchsvolumen, Änderung der hydrochemischen Verhältnisse durch verbleibende Einbauten			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Metallkorrosion (Anker, Stahlnetz) (6.2.7)	QS-System regelmäßige Wartung, Wetterüberwachung/ -steuerung	Korrosionsbeständige Materialen, Oberflächenbeschichtung, Drainagesysteme	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse. Bohrungen und Schlitze bilden Wegsamkeiten in der geologischen Barriere.			Abwerfen nach der Einlagerung von Abfällen der Strecke führt zum nicht vorgesehenen Verschluss bzw. Verfüllung der Strecke.
	Zementkorrosion (6.2.8)						
	Fehlinterpretationen geologischer Daten (6.2.9)	QS-System Mehraugenprinzip, ausreichend geologische Daten, konservative Annahme bei Dateninterpretation, Fortlaufende Erhebung und Auswertung		keine			
	Spannungsänderungen durch Erdbeben (6.2.9)	QS-System, Mehraugenprinzip, Frühwarnsysteme (Notfallpläne)	Überwachungsmesstechnik	Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen.			
	Fehlerhafte Einschätzung der Konvergenzraten (6.2.10)	QS-System Sicherheitsfaktor bei der Auslegung	Überwachungsmesstechnik	Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen.			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Fluidzutritt (Rissbildung oder Auswaschung) (6.2.11)	QS-System Sicherheitsfaktor bei der Auslegung	Erkundungen zur Detektion von Fluidreservoiren, Einsatz von wasserdichtem Beton	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse. Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen.			
	Wärmestrom (Überschreitung der Auslegungstemperatur) (6.2.19)	QS-System Sicherheitsfaktor bei der Auslegung, Wetterüberwachung/ -steuerung	Überwachungsmesstechnik	Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen.			
	Rissbildungen durch thermische Expansion oder Kontraktion (6.2.22)	QS-System Sicherheitsfaktor bei der Auslegung, Wetterüberwachung/ -steuerung	Überwachungsmesstechnik	Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen.			
Komponente 4.1.3: Ausbau der Bohrlochüberfahrungsstrecke							
Versagen des Streckenausbaus	Technische und menschliche Fehler beim Errichten des Bohrlochs / Bohrlochkellers (6.3.2)	QS-System Fachpersonal, Arbeitsanweisungen, Bauüberwachung	Stabilisierung des Ausbaus im Bereich der Bohrung und des Bohrlochkellers	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse	Notfallpläne Schadensbegrenzung, Evakuierung, Personalschulung Warnhinweise für	Ertüchtigung des Ausbaus, Temporäre Abdichtung bei Lösungszutritt bis dauerhafte	Verbleibende Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse und Gasbildung,

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Technische Fehler beim Errichten des Streckenausbaus (6.3.3)	QS-System Fachpersonal, Arbeitsanweisungen, Bauüberwachung	-	keine	Personal, zusätzliche Pumpen	Abdichtung errichtet ist, Abwerfen der Strecke	Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen, Ein vorzeitiges Abwerfen der Strecke vor der Einlagerung von Abfällen führt zu größeren ELB. Ein vorzeitiges Abwerfen nach der Einlagerung von Abfällen der Strecke führt zum nicht vorgesehenen Verschluss bzw. Verfüllung der Strecke.
	Technische Fehler beim Ausbau des Einlagerungsbohrlochs (6.3.4)	QS-System Fachpersonal, Arbeitsanweisungen, Bauüberwachung	Stabilisierung des Ausbaus im Bereich der Bohrung und des Bohrlochkellers	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse			
	Technische Defekte oder Handhabungsfehler beim Einlagerungsbetrieb (6.3.5)	QS-System regelmäßige Wartung des Ausbaus Geschwindigkeitsbegrenzung, Geschwindigkeitsdrosselung an Fahrzeugen, Hinweisschilder Gefahrenstellen, Ampelanlagen, zuverlässige Komponenten	Ausreichend breite Fahrbahnen, gut einsehbare „Gefahrenstellen“, Fahrbahnen mit stoßdämpfender Wirkung, verstärkter Ausbau an Verkehrsknoten, Automatische Assistenzsysteme	Erhöhtes Ausbruchsvolumen, Verbleibende Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse			
	Metallkorrosion (Anker, Stahlnetz) (6.3.7)	QS-System: regelmäßige Wartung, Wetterüberwachung/ -steuerung	Korrosionsbeständige Materialen, Oberflächenbeschichtung, Drainagesysteme	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse			
	Zementkorrosion (6.3.8)						

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Fehlinterpretationen geologischer Daten (6.3.9)	QS-System: Mehraugenprinzip, ausreichend geologische Daten, konservative Annahme bei Dateninterpretation, Fortlaufende Erhebung und Auswertung		keine			
	Spannungsänderungen durch Erdbeben (6.3.9)	QS-System Mehraugenprinzip bei Auslegung, Frühwarnsysteme (Notfallpläne)	Überwachungsmesstechnik	Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen			
	Fehlerhafte Einschätzung der Konvergenzraten (6.3.10)	QS-System Sicherheitsfaktor bei Auslegung berücksichtigen	Überwachungsmesstechnik	Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen			
	Fluidzutritt (Rissbildung oder Auswaschung) (6.3.11)	QS-System Sicherheitsfaktor bei Auslegung berücksichtigen	Überwachungsmesstechnik Einsatz von wasserdichtem Beton	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse, Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Wärmestrom (Überschreitung der Auslegungs-temperatur) (6.3.19)	QS- System Sicherheitsfaktor bei Auslegung, Wetterüberwa-chung/ -steuerung	Überwachungs-messtechnik	Fehler bei Bohr-arbeiten können die Integrität des Gebirges beein-trächtigen			
	Thermische Ex-pansion oder Kontraktion (6.3.22)	QS-System Wetterüberwa-chung/ -steuerung, Sicherheitsfaktor bei der Auslegung	Überwachungs-messtechnik	Fehler bei Bohr-arbeiten können die Integrität des Gebirges beein-trächtigen			
Komponente 4.1.4: Ausbau der Strecken in Salz (Einlagerungsbereich)							
Versagen des Stre-ckenaus-baus	Technische Feh-ler bei Errichtung des Streckenaus-baus (6.4.3)	QS-System Fachpersonal, Ar-beitsanweisungen, Bauüberwachung	-	keine	Notfallpläne Schadensbegren-zung, Evakuie-rung Personalschulung Warnhinweise für Personal zusätzliche Pum-pen	Ertüchtigung des Strecken-ausbaus, Temporäre Abdichtung bei Lösungszutritt bis dauerhafte Abdichtung er-richtet ist, Abwerfen der Strecke	Verbleibende Ma-terialien beein-flussen die hydrochemischen Verhältnisse und Gasbildung. Fehler bei Bohr-arbeiten können die Integrität des Gebirges beein-trächtigen. Ein vorzeitiges Abwerfen der Strecke vor der Einlagerung von Abfällen führt zu größeren ELB. Ein vorzeitiges
	Metallkorrosion (Anker, Stahlnetz) (6.4.7)	QS-System regelmäßige War-tung, Wetterüber-wachung/ -steuerung	Korrosionsbestän-dige Materialen, Oberflächenbe-schichtung, Drainagesysteme	Materialien beein-flussen die hydro-chemischen Verhältnisse und Gasbildung			
	Spannungs-änderungen durch Erdbeben (6.4.9)	QS-System Mehraugenprinzip bei Auslegung, Frühwarnsysteme (Notfallpläne)	Überwachungs-messtechnik	Fehler bei Bohr-arbeiten können die Integrität des Gebirges beein-trächtigen			
	Fehlerhafte Ein-	QS-System	Überwachungs-	Fehler bei Bohr-			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	schätzung der Konvergenzraten (6.4.10)	Sicherheitsfaktor bei Auslegung	messtechnik	arbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen			Abwerfen nach der Einlagerung von Abfällen der Strecke führt zum nicht vorgesehenen Verschluss bzw. Verfüllung der Strecke
Komponente 4.1.5: Ausbausystem vertikales Bohrloch							
Versagen des Ausbausystems vertikales Bohrloch	Menschliche und technische Fehler bei den Bohrarbeiten (6.5.2)	QS-System Fachpersonal, Arbeitsanweisungen, Bauüberwachung	Stabilisierung des Ausbaus im Bereich der Bohrung und des Bohrlochkellers	Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen	Strahlenschutz der Mitarbeiter, Abwerfen des Bohrlochs	Rauben und Neueinbau der Ausbauten Rückholen des Einlagerungsgebindes Nacharbeiten des Bohrlochs Verschließen des Bohrlochs Abwerfen des Bohrlochs	Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen. Ein vorzeitiges Abwerfen des Bohrlochs vor der Einlagerung von Abfällen führt zu größeren ELB. Ein vorzeitiges Abwerfen des Bohrlochs nach der Einlagerung führt zum nicht vorgesehenen Verschluss bzw. Verfüllung des Bohrlochs.
	Technische Fehler beim Ausbau des Einlagerungsbohrlochs (6.5.4)	QS-System Fachpersonal, Arbeitsanweisungen, Bauüberwachung	Stabilisierung des Ausbaus im Bereich der Bohrung und des Bohrlochkellers	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse			
	Handhabungs- und technische Fehler bei der Einlagerung (6.5.5)	QS-System regelmäßige Wartung des Ausbaus, Geschwindigkeitsbegrenzungen, Automatische Assistenzsysteme, zuverlässige Komponenten	Ausreichend Platz an Bohrlochpositionen	keine			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Metallkorrosion des Stahlliner (6.5.7)	QS-System regelmäßige Wartung	Korrosionsbeständige Materialien, Oberflächenbeschichtung	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse			
	Fehlinterpretationen geologischer Daten (6.5.9)	QS-System, Mehraugenprinzip, ausreichend geologische Daten, konservative Annahme bei Dateninterpretation, Fortlaufende Erhebung und Auswertung					
	Spannungsänderungen durch Erdbeben (6.5.9)	QS-System Mehraugenprinzip bei der Auslegung	Auslegung des Ausbausystems, Überwachungsmesstechnik	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse, Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen			
	Fehlerhafte Einschätzung der Konvergenzraten (6.5.10)	QS-System	Überwachungsmesstechnik, Sicherheitsfaktor bei der Auslegung	Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Einbringen von Buffer und Versatz (geringer Versatzdruck) (6.5.13)	QS-System	Überwachungsmesstechnik	Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen			
	Wärmestrom (Überschreitung der Auslegungstemperatur) (6.5.19)	QS- System	Überwachungsmesstechnik Sicherheitsfaktor bei der Auslegung Wetterüberwachung/ -steuerung	Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen			
	Quellen von Tonmineralen (6.5.20)	QS-System	Überwachungsmesstechnik, Anpassung der Baumaterialien an hydrochemische Verhältnisse, redundantes Ausbausystem	Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen, Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse			
	Thermische Expansion und Kontraktion (6.5.22)	QS-System	Überwachungsmesstechnik Wetterüberwachung/ -steuerung Sicherheitsfaktor bei der Auslegung berücksichtigen	Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
Komponente 4.1.6: Ausbausystem horizontales Bohrloch							
Versagen des Ausbausystems horizontales Bohrloch	Menschliche und technische Fehler bei Bohrarbeiten (6.6.2)	QS-System Fachpersonal, Arbeitsanweisungen, Bauüberwachung	Stabilisierung des Ausbaus im Bereich der Bohrung und des Bohrlochkellers	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse	Strahlenschutz der Mitarbeiter	Rauben und Neueinbau der Ausbauten Rückholen des Einlagerungsgebindes Nacharbeiten des Bohrlochs Verschließen des Bohrlochs Abwerfen des Bohrlochs	Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen Ein vorzeitiges Abwerfen des Bohrlochs vor der Einlagerung von Abfällen führt zu größeren ELB. Ein vorzeitiges Abwerfen des Bohrlochs nach der Einlagerung von Abfällen führt zum nicht vorgesehenen Verschluss bzw. Verfüllung des Bohrlochs.
	Technische Fehler beim Ausbau des Einlagerungsbohrlochs (6.6.4)	QS-System Fachpersonal, Arbeitsanweisungen, Bauüberwachung	Stabilisierung des Ausbaus im Bereich der Bohrung und des Bohrlochkellers	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse			
	Handhabungs- und technische Fehler bei der Einlagerung (6.6.5)	QS-System Komponentenfertigung, zuverlässige Komponenten	Beladeposition mit ausreichend Platz, Automatisierte Assistenzsysteme bei der Einlagerung	Erhöhung des Ausbruchsvolumens			
	Metallkorrosion (Stahlliner, Panzerrollen, Stahldeckel) (6.6.7)	QS-System regelmäßige Wartung, Wetterüberwachung/ -steuerung	Korrosionsbeständige Materialien, Oberflächenbeschichtung	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse			
	Fehlinterpretationen geologischer Daten (6.6.9)	QS-System Mehraugenprinzip, ausreichend geologische Daten, konservative Annahme bei Dateninterpreta-		keine			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
		tion, Fortlaufende Erhebung und Auswertung					
	Spannungs-änderungen durch Erdbeben (6.6.9)	QS-System Mehraugenprinzip bei Auslegung Frühwarnsysteme (Notfallpläne)	Überwachungs-messtechnik Komponentenaus-legung mit Sicher-heitsfaktor	Fehler bei Bohr-arbeiten können die Integrität des Gebirges beein-trächtigen			
	Fehlerhafte Ein-schätzung der Konvergenzraten (6.6.10)	QS-System	Überwachungs-messtechnik Sicherheitsfaktor bei Auslegung	Fehler bei Bohr-arbeiten können die Integrität des Gebirges beein-trächtigen			
	Thermische Ex-pansion und Kon-traktion (6.6.22)	QS-System	Überwachungs-messtechnik Wetterüberwa-chung/ -steuerung Sicherheitsfaktor bei der Auslegung	Fehler bei Bohr-arbeiten können die Integrität des Gebirges beein-trächtigen			
Komponente 4.1.7: Bohrlocheinbauten und Schlitten							
Versagen der Bohr-locheinbauten	Menschliche und technische Fehler bei Bohrarbeiten (6.7.2)	QS-System Fachpersonal, Arbeitsanweisungen, Bauüberwachung	Automatisierte Steuerungstechnik bei Bohrarbeiten	keine	Notfallpläne Schadensbegren-zung, Evakuie-rung Personalschulung Abwerfen des	keine	keine
	Defekte, Hand-habungs- oder	QS-System bei der Komponentenferti-	Automatisierte As-sistenzsysteme an	keine			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Materialfehler (6.7.5)	gung	Einlagerungsmaschinen		Bohrlochs		
	Metallkorrosion der Schienen (6.7.7)	QS-System: Kontrolle bei Fertigung und vor Einbau	Korrosionsbeständige Materialen	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse			
Versagen des Schlittens	Defekte, Handhabungs- oder Materialfehler (6.7.5)	QS-System bei der Komponentenfertigung	Anforderungsgerechte Auslegung des Schlittens	keine	Strahlenschutz, Notfallpläne Schadensbegrenzung, Bergung oder Austausch des Schlittens, Umladen des Behälters	Reparatur des Schlittens	keine
	Metallkorrosion des Schlittens (6.7.7)	QS-System bei der Komponentenfertigung	Korrosionsbeständige Materialien	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse			
Komponente 4.1.8: Technische Einrichtungen (Einlagerungsbereich)							
Versagen von technischen Einrichtungen	Handhabungsfehler bei Transport oder Einlagerung, (Lutten, Leitungen, Kabel etc.) (6.8.5)	QS-System regelmäßige Wartung der Einbauten, Geschwindigkeitsbegrenzung, Hinweisschilder an Gefahrenstellen, Ampelanlagen, Schutzbleche, Sicherheitsabstände	Ausreichend breite Fahrbahn bzw. Einlagerungsposition, gut einsehbare Gefahrenstellen, Fahrbahnen mit dämpfender Wirkung, verstärkter Ausbau an Verkehrsknoten	Erhöhung des Ausbruchsvolumens	Tausch defekter Komponenten, Evakuierung des Personals, Warnhinweise, Notfallpläne	Reparatur defekter Komponenten, Absperren von Gefahrenbereichen, Reparatur der Fahrbahn, bei Fluidzutritt oder unverschlossenen	Fehlerhafte Bohrungen beeinträchtigen die Integrität des Wirtsgesteins, Bohrungen stellen Wegsamkeiten im Gebirge dar.

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Funktionsstörungen von elektrischen Anlagen (6.8.6)	QS-System Steuerung der Bewetterung, regelmäßige Kontrolle und Wartung	Isolierung technischer Einrichtungen (Schutzkästen), korrosionsbeständiges Material	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse		Bohrungen Abdichtung durch Injektion oder wasserdichten Ausbau	
	Metallkorrosion (Kabeltraversen, Schienen etc.) (6.8.7)	QS-System, Steuerung der Bewetterung, regelmäßige Kontrolle und Wartung	Isolierung technischer Einrichtungen (Schutzkästen), korrosionsbeständiges Material	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse			
	Zementkorrosion (Fundamente von Anlagen etc.) (6.8.8)	QS-System, Steuerung der Bewetterung, regelmäßige Kontrolle und Wartung	korrosionsbeständiges Material	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse			
	Fehlinterpretationen geologischer Daten (6.8.9)	QS-System, Mehraugenprinzip, ausreichend Daten, Fortlaufende Erhebung und Auswertung		keine			
	Spannungsänderungen durch Erdbeben (6.8.9)	QS-System, Mehraugenprinzip bei Auslegung, Frühwarnsysteme (Notfallpläne)	Überwachungsmesstechnik, Auslegung der Komponenten mit Sicherheitsfaktor	Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Konvergenz (Veränderung der Grubenkontur) (6.8.10)	QS-System	Überwachungs-messtechnik, Sicherheitsfaktor bei Auslegung be-rücksichtigen, flexibler Ausbau	Fehler bei Bohr-arbeiten können die Integrität des Gebirges beein-trächtigen.			
	Fluidzutritt (6.8.11)	QS-System	Überwachungs-messtechnik, Sicherheitsfaktor bei Auslegung, Abdichtung durch Injektionen oder wasserdichten Ausbau	Fehler bei Bohr-arbeiten können die Integrität des Gebirges beein-trächtigen. Materialien beein-flussen die hydro-chemischen Verhältnisse.			
	Fehlerhafte/r Erstellung und Verschluss eines Erkundungs-bohrlochs (6.8.14)	QS-System	Schlagwetterschutz an Geräten, Pre-venter-Einsatz, Überwachungs-messtechnik	Fehler bei Bohr-arbeiten können die Integrität des Gebirges beein-trächtigen			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Wärmestrom (Überhitzen technischer Anlagen) (6.8.19)	QS-System	Überwachungsmesstechnik, Sicherheitsfaktor bei Auslegung, Wetterüberwachung/ -steuerung	Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen			
	Thermisch induzierte Rissbildung in Zementkomponenten (6.8.22)	QS-System	Überwachungsmesstechnik, Wetterüberwachung/ -steuerung, Sicherheitsfaktor bei der Auslegung	Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen			
Feuer	Wärmestrom (Überhitzen technischer Anlagen) (6.8.19)	QS-System regelmäßige Wartung und Kontrolle, Einsatz von nichtbrennbaren Bauteile von zertifizierten Anbietern	Brandmeldeanlage, Gasdetektoren, Löscheinrichtung, Feuertüren, Schlagwetterschutz an Maschinen bzw. Geräten	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse	Notfallplan Brandbekämpfung, Evakuierung, Grubenwehr am Standort, Einsatz von Selbstretter	Feuertüren schließen, Wassertrog-Sperren, Bewetterung, Schutzräume, Feuerlöscher, Rauchmelder	keine
Komponente 4.1.9: Wirtsgestein (Einlagerungsbereich)							
Bläser	Gaszutritte beim Auffahren (6.9.1)	Vorerkundung, Kontrolle und Überwachung des Gebirges	Überwachungsmesstechnik, Erkundungs- und Entgasungsbohrungen	Bohrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden	Steuerung der Bewetterung, Grubenwehr am Standort, Einsatz von Selbstrettern,	Abdichten von Leckagen, kontrollierte Entgasung	Beeinflussung der hydrochemischen Verhältnisse durch Injektionen

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Gaszutritte durch Montagearbeiten (6.9.3)	Vorerkundung, Kontrolle und Überwachung des Gebirges	Überwachungs-messtechnik, Erkundungs- und Entgasungsbohrungen, Schlagwetterschutz an Geräten	Bohrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden	Personalschulungen, Notfallplan Evakuierung		
	Gaszutritte bei Spannungsänderungen (6.9.10)	Geomechanische Gebirgsüberwachung	Überwachungs-messtechnik, Goephysik, Entgasungsbohrungen, Gebirgsschonende Auffahrung	Bohrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden			
	Erstellen und Verschließen von Erkundungsbohrungen (6.9.14)	Vorerkundung, QS-System beim Stoßen und beim Verschließen	Bohrlochgeophysik, Schlagwetterschutz Preventer-Einsatz, Überwachungs-messtechnik	Bohrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden			
	Gaszutritte bei thermisch induzierten Spannungen (6.9.22)	Vermeiden lokal erhöhter Temperaturdifferenzen	Überwachungs-messtechnik	Bohrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden			
Flutung der Grubenbaue	Lösungszutritte bei Spannungsänderungen (6.9.10)	Geomechanische Gebirgsüberwachung	Abdichtung von Zutrittsstellen durch Injektionen und Ausbau	Beeinflussung der hydrochemischen Verhältnisse	Notfallpläne Schadensbegrenzung, Evakuierung,	Ertüchtigung des Ausbaus, Temporäre Abdichtung bis	Verbleibende Materialien beeinflussen die hydrochemischen

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Lösungszutritte beim Auffahren (6.9.1)	Vorerkundung, Kontrolle und Überwachung des Gebirges	Vorerkundung mit Bohrungen und Geophysik	Bohrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden	Personalschulung zusätzlicher Pumpeneinsatz	dauerhafte Abdichtung errichtet ist.	Verhältnisse.
	Lösungszutritte beim Ausbauen (6.9.3)	Vorerkundung, Kontrolle und Überwachung des Gebirges	Vorerkundung mit Bohrungen und Geophysik	Bohrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden			
	Lösungszutritte bei thermisch induzierten Spannungen (6.9.22)	Vermeiden lokal erhöhter Temperaturdifferenzen	Überwachungsmesstechnik	keine			
	Erstellen oder Verschließen von Erkundungsbohrungen (6.9.14)	QS-System Stoßen und Verschluss der Bohrungen	Geophysikalische Vorerkundung	keine			
Freisetzung chemotoxischer Stoffe	Anfahren von unerkannten Fluidreservoiren (6.9.1)	Vorerkundung, Kontrolle und Überwachung des Gebirges	Überwachungsmesstechnik, Vorerkundung, Preventer-Einsatz	Bohrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden	Kontrolle/ Steuerung Bewetterung Einsatz von Selbstrettern Personalschulung Notfallplan Evakuierung	Abdichten von Leckagen Bohrlochverschluss	Verbleibende Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse.
	Anbohren von unerkannten Fluidreservoiren bei der Montage (6.9.3)	Vorerkundung, , Kontrolle und Überwachung des Gebirges	Überwachungsmesstechnik, Vorerkundung, Schlagwetterschutz an Geräten	Bohrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Zutritte durch Spannungs-änderungen (6.9.10)	Geomechanische Gebirgsüberwa-chung	Geophysik, Überwachungs-messtechnik				
	Zutritte durch thermisch indu-zierten Spannun-gen (6.9.22)	Vermeiden lokal erhöhter Tempera-turdifferenzen	Überwachungs-messtechnik				
	Erstellen oder Verschließen von Erkundungsboh-rungen (6.9.14)	QS-System beim Stoßen und Ver-schließen der Boh-rungen	Vorerkundung, Preventer-Einsatz, Schlagwetterschutz an Geräten	Bohrungen müs-sen langzeitsicher verschlossen werden			
Freiset-zung radioakti-ver Stoffe	Anfahren von Fluidreservoiren – z.B. mit Radon (6.9.1)	Vorerkundung und Überwachung des Gebirges	Überwachungs-messtechnik, Preventer-Einsatz an Geräten	Bohrungen müs-sen langzeitsicher verschlossen werden	Strahlenschutz-maßnahmen Schutzausrüstung für Personal Medizinische Ver-sorgung Steuerung der Wetterführung Notfallpläne Eva-kuierung Risikoeinschät-zung	Verschließen betroffener Be-reiche Errichten von Barrieren Abdichten von Leckagen Bohrlochver-schluss	Verbleibende Ma-terialien beein-flussen die hydrochemischen Verhältnisse.
	Anbohren von Fluidreservoiren mit Radon bei Montagearbeiten (6.9.3)	Vorerkundung und Überwachung des Gebirges	Überwachungs-messtechnik	Bohrungen müs-sen langzeitsicher verschlossen werden			
	Zutritte durch Spannungs-änderungen (6.9.10)	Geomechanische Gebirgsüberwa-chung	Überwachungs-messtechnik				
	Erstellen oder	QS-System beim	Preventer-Einsatz	Bohrungen müs-			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Verschließen von Erkundungsbohrungen (6.9.14)	Stoßen und Verschließen der Bohrungen	Schlagwetterschutz an Geräten	sen langzeitsicher verschlossen werden			
	Zutritte durch thermisch induzierten Spannungen (6.9.22)	Vermeiden lokal erhöhter Temperaturdifferenzen	Überwachungsmesstechnik				
Feuer	Zutritte brennbarer Gase beim Auffahren (6.9.1)	Überwachungsmaßnahmen, Brandschutz	Gasdetektoren, Preventer-Einsatz, Schlagwetterschutz an Geräten	Bohrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden	Notfallplan Brandbekämpfung Notfallplan Evakuierung Grubenwehr am Standort Einsatz von Selbstrettern Wettersteuerung Schutzräume	Feuertüren und -sperren schließen, Wassertrog-Sperren, Feuerlöscher, Rauch- und Feuermelder	keine
	Zutritte brennbarer Gase bei der Montage (6.9.3)	Kontroll- und Überwachungsmaßnahmen, Brandschutz	Gasdetektoren, Preventer-Einsatz, Schlagwetterschutz an Geräten				
	Erstellen und Verschließen von Erkundungsbohrungen (6.9.14)	QS-System beim Stoßen und Verschließen der Bohrungen	Gasdetektoren, Preventer-Einsatz Schlagwetterschutz an Geräten	Bohrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden			
Explosion	Zutritte explosiver Gase beim Auffahren (6.9.1)	Kontroll- und Überwachungsmaßnahmen, Brandschutz	Vorerkundung, Gasdetektoren Preventer-Einsatz, Schlagwetterschutz an Geräten	Bohrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden	Notfallplan Brandbekämpfung, Evakuierung Grubenwehr am Standort, Einsatz von Selbstrettern, Wettersteuerung	Feuertüren und -sperren schließen, Wassertrog-Sperren, Feuerlöscher, Rauch- und	keine
	Erstellen und Verschließen von	QS-System beim Stoßen und Ver-	Gasdetektoren Preventer-Einsatz	Bohrungen müssen langzeitsicher			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Erkundungsbohrungen (6.9.14)	schließen der Bohrung	Schlagwetterschutz an Geräten	verschlossen werden	Schutzräume	Feuermelder	
	Zutritte explosiver Gase bei der Montage (6.9.3)	Überwachungsmaßnahmen, Brandschutz, Gasdetektoren	Einsatz nichtbrennbarer Materialien, Schlagwetterschutz an Geräten				
Komponente 4.1.10: Auflockerungszone (Einlagerungsbereich)							
Abschalungen und Löser	Spannungsänderungen durch Auffahrung (6.10.1)	Gebirgsmechanische Betriebsüberwachung, regelmäßige Kontrollen der Stabilität des Ausbaus	Gebirgsschonende Auffahrung sofort- und wirkverzögerte Ausbauelemente	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse.	Sicherheitsausrüstungen geschultes Personal Notfallpläne Evakuierung Sperrung gefährdeter Bereiche Hinweisschilder	Offener und geschlossener Ausbau (Betonschalen, Spritzbeton, Schutzbleche, Schutzkörbe, Netze, Anker)	Verbleibende Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse.
	Spannungsänderungen durch das Stoßen eines Einlagerungsbohrlochs (6.10.2)	Gebirgsmechanische Betriebsüberwachung Überwachung der Bohrarbeiten	Gebirgsschonende Bohrarbeiten	keine			
	Spannungsänderungen durch Ausbau (6.10.3)	Gebirgsmechanische Betriebsüberwachung regelmäßige Kontrolle der Stabilität des Ausbaus	Gebirgsschonender Ausbau sofort- und wirkverzögerte Ausbauelemente	keine			
	Spannungsänderungen durch	QS-System Sicherheitsfaktor	Ausreichend breite Fahrbahnen	Vergrößerung Ausbruch,			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Verkehr im Überwachungs- und Kontrollbereich (6.10.5)	bei Auslegung des Ausbaus, regelmäßige Wartung, Regelungen für Fahrzeugbetrieb, Hinweisschilder an Gefahrenstellen	Fahrbahnen mit stoßdämpfender Wirkung verstärkter Ausbau an Verkehrsknoten Berauben der Stöße und Firste	Verbleibende Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse.			
	Spannungsänderungen durch Zementkorrosion von Injektionen (6.10.8)	QS-System Wetterüberwachung/ -steuerung, Injektionsplanung	Korrosionsbeständige Materialen Berauben der Stöße und Firste Ausbau (Anker-Stahlnetz-Verbund, Betonschalen, Spritzbeton)	Vergrößerung Ausbruch Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse.			
	Spannungsänderungen durch Konvergenz (6.10.10)	Geomechanische Betriebsüberwachung	Sicherungsmaßnahmen mit Ausbau, Berauben der Streckenkontur	Vergrößerung Ausbruch, hydrochemische Verhältnisse			
	Alteration der Auflockerungszone (6.10.21)	Geomechanische Betriebsüberwachung	Sicherungsmaßnahmen mit Ausbau, Berauben der Streckenkontur	Vergrößerung Ausbruch hydrochemische Verhältnisse			
	Spannungsänderungen bei Fluidzutritt (6.10.11)	Geomechanische Betriebsüberwachung	Abdichtung bzw. Stabilisierung durch Injektionen und wasserdichten Ausbau	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse.			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Einbringen des Buffers (bei aufgelockerter Kontur) (6.10.13)	Geomechanische Betriebsüberwachung	konturbündiges Einbringen, Nachverfüllung von Firstspalten	keine			
	Erstellen und Verschließen einer Erkundungsbohrung (6.10.14)	Geomechanische Betriebsüberwachung	Gebirgsschonende Bohrarbeiten, Kontrolle der anforderungsgerechten Verfüllung	keine			
	Errichten eines Verschlussbauwerks (6.10.15)	Geomechanische Betriebsüberwachung	Rasche Errichtung nach Entfernung des Ausbaus temporäre Stabilisierung der Kontur	keine			
	Thermische Expansion oder Kontraktion (6.10.22)	Geomechanische Betriebsüberwachung	Sicherheitsfaktor bei der Auslegung des Ausbaus Stabilisierung durch Ausbau, Berauben der Kontur	Vergrößerung Ausbruch hydrochemische Verhältnisse			
Komponente 4.1.11: Lösungen (Einlagerungsbereich)							
kein EVI abgeleitet							
Komponente 4.1.12: Flüssige Kohlenwasserstoffe (Einlagerungsbereich)							
Feuer	Funkenbildung im Einlagerungs-	QS-System, Brandschutzkon-	Auslegung zur Vermeidung/ Mini-	keine	Notfallplan Brandbekämpfung	Feuertüren und -sperren	keine

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	betrieb durch elektrische Einrichtungen (6.12.5)	zept mit betrieblichen Regelungen, Unfallverhütungsvorschriften, Training des Personals	mierung der Funkenbildung Einsatz nichtbrennbarer Materialien Explosionsschutz an Geräten Gasdetektoren		Notfallplan Evakuierung Grubenwehr am Standort Einsatz von Selbstrettern Wettersteuerung Schutzräume	schließen, Wassertrog-Sperren, Feuerlöscher, Rauch- und Feuermelder, rasches Verschließen und Abwerfen der Bohrung	
	Erstellung von Erkundungsbohrungen (6.12.14)						
Explosion	Funkenbildung im Einlagerungsbetrieb durch elektrische Einrichtungen (6.12.5)	QS-System Brandschutzkonzept mit betrieblichen Regelungen, Unfallverhütungsvorschriften, Training des Personals	Auslegung zur Vermeidung/ Minimierung der Funkenbildung Einsatz nichtbrennbarer Materialien Explosionsschutz an Geräten Gasdetektoren	keine	Notfallplan Brandbekämpfung Notfallplan Evakuierung Grubenwehr am Standort Einsatz von Selbstrettern Wettersteuerung Schutzräume	Feuertüren und -sperren schließen, Wassertrog-Sperren, Feuerlöscher, Rauch- und Feuermelder, rasches Verschließen und Abwerfen der Bohrung	keine
	Erstellung von Erkundungsbohrungen (6.12.14)						
Komponente 4.1.13: Gase (Einlagerungsbereich)							
Feuer	Funkenbildung im Einlagerungsbetrieb durch	QS-System Brandschutzkonzept mit betriebli-	Auslegung zur Vermeidung/ Minimierung der	keine	Notfallplan Brandbekämpfung Notfallplan Eva-	Feuertüren und -sperren schließen,	Verbleibende Materialien beeinflussen die

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	elektrische Einrichtungen (6.13.5)	chen Regelungen, Unfallverhütungsvorschriften, Training des Personals	Funkenbildung Einsatz nichtbrennbarer Materialien Explosionsschutz an Geräten Gasdetektoren		kuierung Grubenwehr am Standort Einsatz von Selbstrettern Wettersteuerung Schutzräume	Wassertrog-Sperren, Feuerlöscher, Rauch- und Feuermelder,	hydrochemischen Verhältnisse
Explosion	Funkenbildung im Einlagerungsbetrieb durch elektrische Einrichtungen (6.13.5)	QS-System Brandschutzkonzept mit betrieblichen Regelungen, Unfallverhütungsvorschriften, Training des Personals	Auslegung zur Vermeidung/ Minimierung der Funkenbildung Einsatz nichtbrennbarer Materialien Explosionsschutz an Geräten Gasdetektoren	keine			
Komponente 4.1.14: Versatz (Einlagerungsbereich)							
Versagen des Versatzes	Fehlerhafter Einbau des Versatzes (6.14.13)	QS-System, Versatzmaterial, Bauüberwachung, geschultes Personal	Erprobung anforderungsgerechtes Einbringen des Versatzes	keine	keine	Ertüchtigung (Injektion) bzw Erneuerung des Versatzes	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse
	Fehleinschätzung der Versatzkompaktion (6.14.9)	QS-System, Versatzmaterial, Bauüberwachung, geschultes Personal	Verifizierung der prognostizierten Kompaktion, Mehrfachbestimmung	keine			
	Fehleinschätzung	Geomechanische		keine			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	der Konvergenz (Firstspalt) (6.14.10)	Betriebsüberwachung, Verifizierung der Planungsgrundlagen					
Komponente 4.1.15: Buffer in Einlagerungsstrecken							
Versagen des Buffers	Konstruktive Fehler des Buffers (6.15.5)	QS-System Arbeitsanweisungen, Buffermaterial, geschultes Fachpersonal	Einbaumethode des Buffers testen, In-situ-Testbauwerk	keine	Bewertung des Quellenvermögens von Bentonit am Einbauort	Ertüchtigen des Buffers	keine
	Spannungsänderungen mit Rissbildung (6.15.9)	QS-System Arbeitsanweisungen, Buffermaterial	Analyse der Einwirkungen, Sicherheitsfaktor bei der Auslegung	keine			
	Fehlerhafte Einschätzung der Konvergenzrate (6.15.10)	Geomechanische Betriebsüberwachung	In-situ-Erprobung des Einbringens des Buffers~~,~~ möglichst kleine Hohlräume	keine			
	Kanalisierung oder Erosion des Buffers (6.15.11)	Bauüberwachung, Überwachung des umgebenden Gebirges	In-situ-Erprobung des Einbringens~~,~~ möglichst kleine Resthohlräume, geophysikalische Messungen	keine			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Fehlerhafter Einbau des Buffers (6.15.13)	QS-System Buffermaterial, geschultes Fachpersonal, Arbeitsanweisungen	In-situ-Erprobung des Einbringen des Buffers	Keine			
	Radiolysegasbildung (6.15.18)		Abschirmung der Behälter, Überprüfung der Beladung (Dosisbegrenzung)	keine			
	Fehlerhafte Einschätzung des Quellens (6.15.20)	QS-System: Geo-Daten des Buffermaterials vor und nach Einbau, geschultes Fachpersonal	Laboranalyen bei Standortbedingungen, in-situ-Tests, Verifizierung der hydrochemischen Modellannahmen	keine			
	Thermisch induzierte Rissbildung und Kanalisierung (6.15.22)		Überprüfung der Begrenzung der Behältertemperatur	keine			
Komponente 4.1.16: Erkundungs- oder Überwachungsbohrung (Einlagerungsbereich)							
Versagen des Verschlusses einer Erkundungs- oder	Metallkorrosion in abgeworfenen Bohrlöchern (z.B. Innenliner, Bohrgestänge) (6.16.7)	QS-System bautechnische Nachweise, abgeworfene Bohrlöcher beräumen	Überwachungsmesstechnik	Bohrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden	Risikoeinschätzung /-abwägung für Erkundung bzw. Überwachung	Erneuerung / Ertüchtigung des Verschlusses	Verbleibende Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
Überwa-chungs-bohrung	Zementkorrosion (Verfüllung der Bohrungen) (6.16.8)	QS-System bautechnische Nachweise, Einsatz von korrosionsbe-ständigem Zement	Überwachungs-messtechnik	Bohrungen müs-sen langzeitsicher verschlossen werden			
	Spannungsän-derungen durch betriebliche Las-ten (6.16.9)	QS-System bautechnische Nachweise, Regelungen für Fahrzeugbetrieb und Vermeidung von Unfällen	Auslegung und Ausführungspla-nung für erwartete Lasten, konstrukti-ve Maßnahmen zur Begrenzung der Lasten	Beeinflussung der hydrochemischen Verhältnisse			
	Unzureichende Einspannung durch geringe Konvergenz (6.16.10)	Geomechanische Betriebsüberwa-chung	Überwachungs-messtechnik, Redundante und diversitäre Ver-schlüsse mit quell-fähigem Material	Beeinflussung der hydrochemischen Verhältnisse			
	Erosion und Kanalisierung des Verschlusses (6.16.11)	QS-System bautechnische Nachweise, Sicherheitsfaktor bei der Auslegung	Vorerkundung der Einbauorte, redundante und diversitäre Ver-schlusssysteme	Beeinflussung der hydrochemischen Verhältnisse			
	Menschliche und technische Fehler beim Verfüllen (6.16.14)	QS-System Fachpersonal, Bauüberwachung, Arbeitsablaufpläne		keine			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Fehlerhafte Einschätzung des Quellvermögens (6.16.20)	QS-System bautechnische Nachweise, regelmäßige Kontrolle	Laboranalyen bei Standortbedingungen, in-situ-Tests, Verifizierung der hydrochemischen Modellannahmen	keine			
	thermisch induzierte Rissbildung (6.16.22)	QS-System bautechnische Nachweise	redundante und diversitäre Verschlusssysteme, Überwachungsmessungen	keine			
Komponente 4.1.17: Bohrlochverschluss							
Versagen des Bohrlochverschlusses	Spannungsänderungen mit Rissbildung (6.17.9)	QS-System bautechnische Nachweise, Kontrolle des Baumaterials, Bauüberwachung, geomechanische Betriebsüberwachung	Optimierung der Baustoffrezeptur, in-situ-Erprobung des Verschlusses	keine		Erneuerung / Ertüchtigung des Bohrlochverschlusses	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse
	Unzureichende Einspannung durch geringe Konvergenz (6.17.10)		Geomechanische Betriebsüberwachung	keine			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Erosion von Bentonit (6.17.11)		Geophysikalische Vorerkundung der Einbauorte, Überwachungsmesstechnik	keine			
	Menschliche und technische Fehler beim Einbau (6.17.16)	QS-System Einsatz von zuverlässiger Technik, Bauüberwachung, Arbeitsablaufpläne, geschultes Personal		keine			
	Wärmestrom (Überschreitung der Auslegungstemperatur) (6.17.19)	QS- System, Überprüfung der Beladung, Wetterüberwachung / -steuerung		keine			
	Fehlerhafte Einschätzung des Quellvermögens (6.17.20)	QS-System bautechnische Nachweise, Kontrolle des Baumaterials	Laboranalyen unter Standortbedingungen, in-situ-Test des Verschlusses, Verifizierung der Hydrochemie	keine			
	thermisch induzierte Rissbildung und Kanalisierung (6.17.22)	QS-System, bautechnische Nachweise	In-situ-Erhitzer-Versuche	lokal (nahe der Versuche)			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
Komponente 4.1.18: Verschlussbauwerke							
Versagen eines Streckenverschlusses	Menschliche und technische Fehler beim Auffahren (6.18.1)	QS-System Bauüberwachung, geschultes Personal, zuverlässige Technik	Gebirgsschonende Auffahrung, Überwachungsmesstechnik			Erneuerung / Ertüchtigung des Verschlusses	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse
	Zementkorrosion (6.18.8)	QS-System, bautechnische Nachweise, Kontrolle der Baustoffe	korrosionsbeständige Materialien, Opferschichten, In-situ-Testbauwerk	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse			
	Spannungsänderungen mit Rissbildung (6.18.9)	Geomechanische Betriebsüberwachung, abdeckende Lastfälle bei Auslegung, QS-System bautechnische Nachweise, Kontrolle der Baustoffe	redundante Verschlusssysteme, In-situ-Testbauwerk keine bergbauliche Tätigkeiten nahe von Verschlüssen	keine			
	Unzureichende Einspannung durch geringe Konvergenz (6.18.10)	Geomechanische Betriebsüberwachung	Einsatz quellender Baustoffe	keine			
	Erosion von Bentonit (6.18.11)	QS-System bautechnische Nachweise	redundante und diversitäre Verschlusssysteme,	Materialien beeinflussen die hydrochemischen			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
		Vorerkundung der Einbauorte	Verwendung wasserfester Beton	Verhältnisse			
	Fehler beim Verschließen einer Bohrung (6.18.14)	QS-System bautechnische Nachweise, Fachpersonal, Bauüberwachung	Überwachungsmessungen, zertifizierte Technik	keine			
	Fehler bei der Auslegung und Errichtung (6.18.15)	QS-System, bautechnische Nachweise, Bauüberwachung Fachpersonal	redundante Verschlusssysteme, In-situ-Testbauwerk	keine			
	Fehlerhafte Einschätzung des Quellvermögens (6.18.20)	QS-System bautechnische Nachweise, Fachpersonal, Mehraugenprinzip, Matrialerforschung	redundante Verschlusssysteme, Laboranalyen unter Standortbedingungen, in-situ-Tests, Verifizierung der Hydrochemie, Überwachungsmessungen	keine			
	Fortschreitende Entfestigung in der Auflockerungszone (6.18.21)	Geomechanische Betriebsüberwachung	Gebirgsschonende Streckenauffahrung, Berauben der Streckenkontur, Vergütung durch Injektionen	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	thermisch induzierte Rissbildung (6.18.22)	QS-System bautechnische Nachweise	redundante Verschlusssysteme, Überwachungsmessungen	keine			
Komponente 4.1.19: Endlagergebinde und Transferbehälter (Einlagerungsbereich)							
Versagen des Endlagergebindes	Technische Defekte und Unfälle (6.19.5)	QS-System regelmäßige Kontrolle und Wartung von Ausbau und Fahrzeugen, Regelungen für den Fahrzeugbetrieb (z. B. Geschwindigkeits-, Hubhöhenbegrenzung), redundante Einschlusssysteme der Behälter	Auslegung der Endlagerbehälter für mögliche Betriebsunfälle (z.B. Typ B(U) Zulassung), Fahrzeuge mit Assistenzsystemen, breite Fahrbahnen, gut einsehbare „Gefahrenstellen“, Fahrbahnen mit dämpfender Wirkung	Auslegung des Behälters beeinflusst sein Langzeitverhalten, Beeinflussung der hydrochemischen Verhältnisse	Steuerung der Wetterführung, Notfallpläne Evakuierung, Risikoeinschätzung/ -abwägung, Schutzausrüstung Personal, Medizinische Versorgung	Reparaturen und Dekontamination, Einschließen defekter Behälter in Overpacks	keine
	Gebirgsdruck beeinträchtigt Integrität bei unerkannten Defekten (6.19.9)						
	Metallkorrosion beeinträchtigt Integrität bei unerkannten Defekten (6.19.7)						
	thermomechanische Spannungen beeinträchtigen Integrität bei unerkannten Defekten (6.19.22)						
Versagen	Technische De-	QS-System	Auslegung der	Erhöhung des			keine

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
des Transferbehälters	fekte und Unfälle (6.19.5)	regelmäßige Wartung Ausbau und Fahrzeuge, Regelungen für den Fahrzeugbetrieb (z. B. Geschwindigkeits-, Hubhöhenbegrenzung)	Transferbehälter für mögliche Betriebsunfälle (z.B. Typ B(U)-Zulassung), Fahrzeuge mit Assistenzsystemen, breite Fahrbahnen, gut einsehbare „Gefahrenstellen“, Fahrbahnen mit dämpfender Wirkung	Ausbruchsvolumens			
	Metallkorrosion beeinträchtigt Integrität (6.19.7)	QS-System regelmäßige Kontrolle und Wartung	Korrosionsschutz	keine			
Komponente 4.1.20: Fahrzeuge (Einlagerungsbereich)							
Versagen von Bergbaumaschinen	Beschädigungen durch hereinbrechendes Gestein (6.20.1)	QS-System Bauüberwachung, geschultes Personal, gebirgsschonende Auffahrung, regelmäßiges Rauben der Firste, zeitnaher Ausbau	Offener oder geschlossener Ausbau (Spritzbeton, Schutzbleche, Anker / Stahlnetze), Fahrzeuge mit Aufprallblechen und Stahlgittern	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse	Notfallpläne, Bergen des Fahrzeuges	Reparatur oder Tausch defekter Komponenten	keine
	Beschädigungen bei Bohrarbeiten (6.20.2)	QS-System regelmäßige Kontrolle und Wartung, geschultes Perso-		keine			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
		nal					
	Beschädigungen beim Ausbau der Strecken durch menschliche und technische Fehler (6.20.3)	QS-System Arbeitsablaufpläne, Bauüberwachung, zeitnaher Ausbau	Rauben der Firste, Gebirgsschonende Auffahrung, anforderungsgerechte Auslegung des Ausbaus	Erhöhung des Ausbruchvolumens			
	Beschädigungen beim Ausbau eines Einlagerungsbohrlochs (6.20.4)	QS-System regelmäßige Kontrolle und Wartung, geschultes Personal		keine			
	Technische und menschliche Fehler beim Einlagerungsbetrieb (6.20.5)	Arbeitsablaufpläne, Koordination der Fahrzeugeinsätze, geschultes Personal	Gut einsehbare Streckenführung, Kollisionswarn-, Nothaltesysteme, Bremsassistenten	keine			
	Defekte und Fehlfunktionen durch Metallkorrosion (6.20.7)	QS-System regelmäßige Kontrolle und Wartung der Fahrzeuge	rostfreier Stahl, Schutzanstrich	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse			
	Beschädigungen beim Einbringen von Buffer und Versatz (6.20.13)	QS-System geschultes Personal, Arbeitsablaufpläne	Schutzbleche und Abprallbleche, Assistenzsysteme zur Unfallvermeidung (Nothaltesysteme, Bremsassistenten)	keine			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Beschädigungen beim Erstellen und Verschließen einer Erkundungsbohrung (6.20.14)						
	Beschädigungen beim Errichten eines Verschlussbauwerkes (6.20.15)						
	Beschädigungen beim Errichten eines Bohrlochverschlusses (6.20.16)						
Versagen von Transportfahrzeugen	Technische und menschliche Fehler beim Einlagerungsbetrieb (6.20.5)	QS-System Koordination der Fahrzeugeinsätze, Arbeitsablaufpläne, geschultes Personal	Schutzbleche und Abprallbleche an Fahrzeugen, Assistenzsysteme zur Unfallvermeidung (Kollisionswarn-, Nothaltesysteme, Bremsassistenten), Auslegung gemäß Typ B(U) Behälter gegen Transportunfälle	keine	Notfallpläne Evakuierung und Umladung, Schutzausrüstung, Kontrolle der Strahlenexposition, Bergen des Fahrzeuges	Maßnahmen abhängig von Beschädigung nur Fahrzeuge oder auch Endlagergebinde, Reparatur bzw. Tausch defekter Komponenten	keine

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Defekte und Fehlfunktionen durch Metallkorrosion (6.20.7)	QS-System regelmäßige Kontrolle und Wartung der Fahrzeuge	rostfreie Stähle, Schutzanstrich, Verzinkung	keine			
Beschädigung von Einlagerungsmaschinen	Technische und menschliche Fehler beim Einlagerungsbetrieb (6.20.5)	QS-System Arbeitsablaufpläne, Koordination der Fahrzeugeinsätze, geschultes Personal	Schutzbleche und Abprallbleche, Assistenzsysteme zur Unfallvermeidung (Kollisionswarn-, Nothaltesysteme, Bremsassistenten), Auslegung gemäß Typ B(U) Behälter gegen Handhabungsunfälle	keine	Notfallpläne Evakuierung und Umladung, Schutzausrüstung, Kontrolle der Strahlenexposition, Bergen des Fahrzeuges	Maßnahmen abhängig von Beschädigung nur Maschine oder auch Endlagergebinde, Reparatur bzw. Tausch defekter Komponenten	keine
	Defekte und Fehlfunktionen durch Korrosion von Metallteilen (6.20.7)	QS-System regelmäßige Kontrolle und Wartung der Fahrzeuge	rostfreie Stähle, Schutzanstrich, Verzinkung	keine			
Freisetzung chemotoxischer Stoffe	Defekte an Fahrzeugen – Austritt Treibstoff, Abgase (6.20.5)	QS-System regelmäßige Kontrolle und Wartung der Fahrzeuge, Wetterüberwachung	Elektrofahrzeuge, Katalysatoren zur Abgasreinigung, Warnhinweise bei Defekten, Überwachungssystem der Grubenwetter	keine	Steuerung der Bewetterung, Einsatz von Selbstrettern, Notfallplan Evakuierung	bei erhöhten Schadstoffgrenzwerten Erhöhung des Wetterstroms, Abdichten von Leckagen	keine

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Ausstoß von Fahrzeugen (6.20.6)						
	Metallkorrosion (6.20.7)	robuste Komponenten, regelmäßige Wartung	Isolierungen, redundante Komponenten	keine			
Feuer	Zündfunken durch Defekte an Geräten, Anlagen und Fahrzeugen (6.20.5)	Betriebliche Regelungen, Brandschutzmaßnahmen	Gas- und Rauchdetektoren, Automatische Feuerlöschsysteme, nicht brennbare Materialien, Explosionsschutz an Geräten	keine	Notfallpläne Evakuierung, Brandbekämpfung, Grubenwehr am Standort, Selbstretter, Wettersteuerung, Schutzräume	Feuertüren schließen, Wassertrog-Sperren, Feuerlöscher, Rauch- und Feuermelder	
Explosion							

Anlage D: Gegenmaßnahmen zur Prävention und Mitigation von EVI in Graubenbauen (außerhalb der Einlagerungsbereiche)

Die nachfolgende Tabelle zeigt Gegenmaßnahmen zur Prävention und Mitigation von EVI im Teilsystem "Grubenbaue".

Die Tabelle ist wie folgt gegliedert:

- Spalte 1: EVI
- Spalte 2: Auslöser der EVI
- Spalte 3 und 4: Maßnahmen zur Prävention der EVI – separiert nach organisatorisch und technisch
- Spalte 5: Auswirkung der Präventionsmaßnahmen auf das Endlagersystem in der Nachbetriebsphase
- Spalte 6 und 7: Maßnahmen zur Mitigation der EVI – separiert nach organisatorisch und technisch
- Spalte 8: Auswirkung der Mitigationsmaßnahmen auf das Endlagersystem in der Nachbetriebsphase.

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
Komponente 3.1.1: Ausbau Richt- und Wetterstrecken							
Versagen des Streckenausbaus	Technische Fehler bei Errichtung des Streckenausbaus (5.1.2)	QS-System geschultes Fachpersonal, Arbeitsanweisungen, Bauüberwachung		keine	Notfallpläne Schadensbegrenzung, Evakuierung Schulung des Personals, Warnhinweise für das Personal zusätzliche Pumpen	Ertüchtigung des Ausbaus, Temporäre Abdichtung bei Lösungszutritt bis dauerhafte Abdichtung erreicht ist, Abwerfen der Strecke	Materialien beeinflussen die hydrchemischen Verhältnisse und ggf. Gasbildung. Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen. Ein vorzeitiges Abwerfen der Strecke vor der Einlagerung von Abfällen führt zu größeren ELB. Ein vorzeitiges Abwerfen nach der Einlagerung von Abfällen der Strecke führt zum nicht vorgesehenen Verschluss bzw. Verfüllung der Strecken.
	Technische Defekte und Materialfehler beim Transportverkehr (5.1.3)	QS-System regelmäßige Wartung des Ausbaus, Geschwindigkeitsbegrenzung Geschwindigkeitsdrosselung an Fahrzeugen, geschultes Personals	Ausreichend breite Fahrbahnen, gut einsehbare „Gefahrenstellen“, Fahrbahnen mit dämpfender Wirkung, verstärkter Ausbau der Verkehrsknoten, Hinweisschilder an Gefahrenstellen	Erhöhtes Ausbruchsvolumen, Änderung der hydrochemischen Verhältnisse			
	Metallkorrosion (Anker, Stahlnetz) (5.1.5)	QS-System regelmäßige Wartung des Ausbaus, Wetterüberwachung / -steuerung	korrosionsbeständige Materialien, Oberflächenbeschichtung, Drainagesysteme	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse, Bohrungen und Schlitze bilden Wegsamkeiten in der geologischen Barriere.			
	Zementkorrosion (5.1.6)						
	Spannungsänderungen durch Fehlinterpretation	QS-System Mehraugenprinzip bei Auslegung und	Überwachungsmesstechnik	Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	und Erdbeben (5.1.7)	Datenauswertung, aktuelle Erhebung und Auswertung der Daten, Frühwarnsystem (Notfallpläne)		Gebirges beeinträchtigen			
	Fehlinterpretation der Konvergenzraten (5.1.8)	QS-System Sicherheitsfaktor bei der Auslegung	Überwachungsmesstechnik	Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen			
	Fluidzutritte mit Auswaschungen im Beton (5.1.9)	QS-System, Sicherheitsfaktor bei Auslegung	Erkundungen zur Detektion von Fluidreservoiren, Einsatz von wasserfestem Beton	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse. Bohrungen und Schlitze bilden Wegsamkeiten in der geologischen Barriere.			
	Beschädigungen durch Entfernen technischer Einrichtungen (5.1.11)	QS-System, Kontrolle und Wartung des Ausbaus, zertifizierte Komponenten	Hinweisschilder an Gefahrenstellen	Erhöhung des Ausbruchvolumens			
	Rissbildungen durch thermische Expansion oder Kontraktion (5.1.19)	QS-System, Wetterüberwachung / -steuerung, Sicherheitsfaktor bei Auslegung	Überwachungsmesstechnik	Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
Komponente 3.1.2: Ausbau der Infrastrukturstrecken							
Versagen des Ausbaus der Infrastrukturbereiche	Technische Fehler beim Errichten des Streckenausbaus (5.2.2)	QS-System Fachpersonal, Arbeitsanweisungen, Bauüberwachung		keine	Notfallpläne Schadensbegrenzung, Evakuierung Personalschulung Warnhinweise für Personal zusätzliche Pumpen	Ertüchtigung des Streckenausbaus, Temporäre Abdichtung bei Lösungszutritt bis dauerhafte Abdichtung errichtet ist, Abwerfen der Strecke	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse und ggf. die Gasbildung. Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen. Ein vorzeitiges Abwerfen der Strecken vor der Einlagerung von Abfällen führt zu größeren ELB. Ein vorzeitiges Abwerfen nach der Einlagerung von Abfällen der Strecke führt zum nicht vorgesehenen Verschluss bzw. Verfüllung der Strecke.
	Technische Defekte und Materialfehler beim Transportverkehr (5.2.3)	QS-System regelmäßige Wartung des Ausbau, Geschwindigkeitsbegrenzung, Geschwindigkeitsdrosselung an Fahrzeugen, Hinweisschilder an Gefahrenstellen, Ampelanlagen, zuverlässige Komponenten	ausreichend breite Fahrbahnen, gut einsehbare „Gefahrenstellen“, Fahrbahnen mit stoßdämpfender Wirkung, verstärkter Ausbau der Verkehrsknoten, Automatische Assistenzsysteme	Erhöhtes Ausbruchsvolumen, Änderung der hydrochemischen Verhältnisse durch verbleibende Einbauten			
	Metallkorrosion (Anker, Stahlnetz) (5.2.5)	QS-System regelmäßige Kontrolle und Wartung des Ausbaus, Bewetterung	korrosionsbeständige Materialien Oberflächenbeschichtung Drainagesysteme	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse. Bohrungen und Schlitze bilden Wegsamkeiten in der geologischen Barriere.			
	Zementkorrosion (5.2.6)						
	Spannungsänderungen durch	QS-System Mehraugenprinzip	Überwachungs-	Fehler bei Bohrarbeiten können			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Fehlinterpretation und Erdbeben (5.2.7)	bei Auslegung und Datenauswertung, Konservativität aktuelle Erhebung und Auswertung von Daten Frühwarnsysteme (Notfallpläne)	messtechnik	die Integrität des Gebirges beeinträchtigen			
	Fehlinterpretation der Konvergenzraten (5.2.8)	QS-System Sicherheitsfaktor bei der Auslegung	Überwachungsmesstechnik	Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen			
	Fluidzutritte mit Auswaschungen im Beton (5.2.9)	QS-System Sicherheitsfaktor bei der Auslegung	Erkundungen zur Detektion von Fluidreservoiren, Einsatz von wasserfestem Beton	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse. Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen.			
	Beschädigungen durch Entfernen der technischen Einrichtungen (5.2.11)	Kontrolle und Wartung des Ausbaus, betriebliche Regelungen, zertifizierte Komponenten	Hinweisschilder an Gefahrenstellen	Erhöhung des Ausbruchvolumens			
	Rissbildungen durch thermische Expansion oder	QS-System, Sicherheitsfaktor bei der Auslegung,	Überwachungsmesstechnik	Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Kontraktion (5.2.19)	Bewetterung		Gebirges beeinträchtigen			
Komponente 3.1.3: Technische Einrichtungen							
Versagen von technischen Einrichtungen	Technische Defekte und Erschütterungen beim Transportverkehr (5.3.3)	QS-System regelmäßige Wartung und Kontrolle, Geschwindigkeitsbegrenzung, Geschwindigkeitsdrosselung an Fahrzeugen Schulung des Personals	ausreichend breite Fahrbahnen, gut einsehbare Gefahrenstellen, Fahrbahnen mit dämpfender Wirkung, verstärkter Ausbau an Verkehrsknoten, Hinweisschilder, Ampelanlagen	Erhöhung des Ausbruchsvolumens	Notfallpläne, Schulung des Personals, Warnhinweise für Personal	Reparatur und Austausch von defekten Komponenten, Absperren und Abdichten von Gefahrenbereichen, Verschluss und Überbohren von Bohrungen	keine
	Funktionsstörung durch Feuchtigkeit der Grubenwetter (5.3.4)	QS-System regelmäßige Kontrolle und Wartung, Bewetterung	Isolierung technischer Einrichtungen	Änderung der hydrochemischen Verhältnisse durch verbleibende Materialien			
	Funktionsstörung durch Metallkorrosion (5.3.5)	QS-System regelmäßige Kontrolle und Wartung, Bewetterung	Isolierung technischer Einrichtungen, korrosionsbeständiges Material	Änderung der hydrochemischen Verhältnisse durch verbleibende Materialien			
	Funktionsstörung durch Zementkorrosion (5.3.6)	QS-System regelmäßige Kontrolle und Wartung					
	Funktionsstörung durch Fehlinterpretation der Ge-	QS-System Mehraugenprinzip bei der Auslegung	Überwachungsmesstechnik	Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	birgsspannungen und Erdbeben (5.3.7)	und Datenauswertung, Erhebung und Auswertung aktueller Daten, Fachpersonal, Frühwarnsysteme (Notfallpläne)		Gebirges beeinträchtigen			
	Funktionsstörung durch Fehlinterpretation der Konvergenzraten (5.3.8)	QS-System Sicherheitsfaktor bei der Auslegung Erhebung und Auswertung aktueller Daten	Überwachungsmesstechnik	Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen			
	Funktionsstörung durch Fluidzutritte (5.3.9)	QS-System Sicherheitsfaktor bei der Auslegung, Lösungsmanagement	Injektionen, Einbau temporärer Dichtelemente	Änderung der hydrochemischen Verhältnisse durch verbleibende Materialien			
	Funktionsstörung durch Entfernen von technischen Einrichtungen (5.3.11)	QS-System, Fachpersonal, Arbeitsanweisungen, Bauüberwachung		keine			
	Funktionsstörung durch technische Defekte bei Bohrarbeiten (5.3.13)	QS-System, Fachpersonal, Arbeitsanweisungen, Bauüberwachung	zertifizierte Komponenten	keine			
	Funktionsstörung durch Überhitzen von technischen	QS-System, Sicherheitsfaktor bei der Auslegung,	Wettermessungen, Temperaturfeldmessungen,	keine			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Anlagen (5.3.16)	regelmäßige Kontrolle und Wartung, Bewetterung	Kühlung				
	Funktionsstörung durch Befestigungen technischer Einrichtungen (5.3.18)	QS-System, Arbeitsanweisungen, Überwachung		keine			
	Rissbildungen durch thermische Expansion oder Kontraktion (5.3.19)	QS-System, Sicherheitsfaktor bei der Auslegung Bewetterung	zertifizierte Komponenten	keine			
Feuer	Brandlasten und Zündfunken durch Defekte (5.3.3)	QS-System, regelmäßige Kontrolle und Wartung, Brandschutz, Feuer- und Gasdetektoren	Einsatz zertifizierter Bauteile und nichtbrennbarer Materialien	Änderung der hydrochemischen Verhältnisse durch verbleibende Materialien	Notfallplan Brandbekämpfung, Evakuierung, Grubenwehr am Standort, Einsatz von Selbstrettern, Wettersteuerung	Feuertüren schließen, Schutzräume, Feuerlöscher, Rauch- und Feuermelder	keine
	Zündfunken beim Entfernen technischer Einrichtungen (5.3.11)						
	Zündfunken bei Bohrarbeiten (5.3.13)						
	Zündung durch Überhitzen technischer Anlagen	QS-System, Sicherheitsfaktor bei der Auslegung,	Wetter- und Temperaturfeldmessungen, Kühlung	keine			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	(5.3.16)	regelmäßige Kontrolle und Wartung					
Explosion	Zündfunken durch Defekte (5.3.3)	QS-System, regelmäßige Kontrolle und Wartung, Explosionsschutz, Feuer- und Gasdetektoren	Einsatz zertifizierter Bauteile und nichtbrennbarer robuster Materialien, Explosionsschutz an Geräten	keine	Notfallplan Brandbekämpfung, Evakuierung, Grubenwehr am Standort, Einsatz von Selbstrettern, Wettersteuerung	Feuertüren schließen, Schutzräume, Feuerlöscher, Rauch- und Feuermelder	keine
	Zündfunken beim Entfernen technischer Einrichtungen (5.3.11)						
	Zündfunken bei Bohrarbeiten (5.3.13)						
Freisetzung chemotoxische Stoffe	Beschädigung von Leitungen etc. (5.3.3)	QS-System, regelmäßige Kontrolle und Wartung, Überwachung	Einsatz zertifizierter Bauteile und robuster Materialien, redundante Anschlusssysteme	keine			
Komponente 3.1.9: Wirtsgestein (Grubenbaue)							
Bläser	Anfahren von unerkannten Gasreservoiren (5.4.1)	Vorerkundung, Kontrolle und Überwachung des Gebirges	Überwachungsmesstechnik, Erkundungs- und Entgasungsbohrungen, Preventer-Einsatz, Gebirgsschonende Auffahrung	Bohrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden	Steuerung der Bewetterung, Grubenwehr am Standort, Einsatz von Selbstrettern, Personalschulungen, Notfallplan Evakuierung	Abdichten von Leckagen, kontrollierte Entgasung	Beeinflussung durch Injektionen
	Anbohren von unerkannten Gasreservoiren (5.4.2)						

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Gaszutritte bei Änderung der Gebirgsspannungen (5.4.7)						
	Erstellen von Erkundungsbohrungen (5.4.13)	QS-System beim Stoßen der Bohrungen	Bohrlochgeophysik, Schlagwetterschutz an Geräten, Preventer-Einsatz				
	Gaszutritte bei thermisch induzierten Spannungen (5.4.19)	Vermeiden lokal erhöhter Temperaturdifferenzen	Überwachungsmesstechnik				
Flutung der Grubenbaue	Lösungszutritte bei Spannungsänderungen (5.4.7)	Vorerkundung, Kontrolle und Überwachung des Gebirges	Vorerkundung durch Bohrungen und Geophysik, Abdichtung von Zutrittsstellen durch Injektionen und Ausbau	Beeinflussung der hydrochemischen Verhältnisse, Bohrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden	Notfallpläne Schadensbegrenzung, Evakuierung, zusätzlicher Pumpeneinsatz, Abwerfen gefluteter Grubenaue nach Verschluss	Ertüchtigung des Ausbaus, temporäre Abdichtung, Abpumpen der zutretenden Lösungen	Verbleibende Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse
	Anfahren von unerkannten Fluidreservoiren (5.4.1)						
	Anbohren von unerkannten Fluidreservoiren (5.4.2)						
	Lösungszutritte bei thermisch induzierten Spannungen (5.4.19)	Vermeiden lokal erhöhter Temperaturdifferenzen	Überwachungsmesstechnik				

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Erstellen von Erkundungsbohrungen (5.4.13)	QS-System beim Stoßen der Bohrungen	Geophysik				
Freisetzung chemotoxischer Stoffe	Anfahren von unerkannten Fluidreservoiren (5.4.1)	Vorerkundung, Kontrolle und Überwachung des Gebirges	Überwachungsmesstechnik, Gebirgsschonende Auffahrung, Preventer-Einsatz, Schlagwetterschutz	Bohrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden	Steuerung der Bewetterung, Einsatz von Selbstrettern, Notfallplan Evakuierung, Schutzausrüstung für Personal, Medizinische Versorgung	Abdichten von Leckagen (ggf. Injektionen), Bohrlochverschluss	verbleibende Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse
	Anbohren von unerkannten Fluidreservoiren (5.4.2)						
	Zutritte durch Spannungsänderungen (5.4.7)						
	Zutritte durch thermisch induzierten Spannungen (5.4.19)	Vermeiden lokal erhöhter Temperaturdifferenzen	Überwachungsmesstechnik				
	Erstellen von Erkundungsbohrungen (5.4.13)	QS-System beim Stoßen der Bohrungen	Geophysik, Schlagwetterschutz Preventer-Einsatz				
Freisetzung radioaktiver Stoffe	Anfahren von Fluidreservoiren – z.B. mit Radon (5.4.1)	Vorerkundung und Überwachung des Gebirges	Entgasungsbohrungen, Überwachungsmesstechnik, Preventer-Einsatz	Bohrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden	Strahlenschutzmaßnahmen Schutzausrüstung für Personal, Medizinische Ver-	Verschließen betroffener Bereiche Errichten von Barrieren	Verbleibende Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse.

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Anbohren von Fluidreservoiren mit Radon bei Montagearbeiten (5.4.2)				sorgung Steuerung der Wetterführung Notfallpläne Evakuierung Risikoeinschätzung	Abdichten von Leckagen Bohrlochverschluss Bewetterung und Filterung der Wetter	
	Zutritte durch Spannungsänderungen (5.4.7)						
	Erstellen von Erkundungsbohrungen (5.4.13)	QS-System beim Stoßen der Bohrungen	Geophysik, Schlagwetterschutz Preventer-Einsatz				
	Zutritte durch thermisch induzierten Spannungen (5.4.19)	Vermeiden lokal erhöhter Temperaturdifferenzen	Überwachungsmesstechnik				
Feuer	Zutritte brennbarer Gase beim Auffahren (5.4.1)	Überwachungsmaßnahmen, Brandschutz	Vorerkundung, Gasdetektoren, Preventer-Einsatz, Schlagwetterschutz an Geräten	Bohrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden	Notfallplan zur Brandbekämpfung, Notfallplan zur Evakuierung, Grubenwehr am Standort, Einsatz von Selbstrettern, Wettersteuerung, Schutzräume	Feuertüren, Feuersperren, Wassertrogsperren, Feuerlöscher, Rauch-und Feuermelder	keine
	Zutritte brennbarer Gase bei der Montage (5.4.2)	Kontroll- und Überwachungsmaßnahmen, Brandschutz					
	Erstellen von Erkundungsbohrungen (5.4.13)	QS-System beim Stoßen der Bohrungen					

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
Explosion	Zutritte brennbarer Gase beim Auffahren (5.4.1)	Kontroll- und Überwachungsmaßnahmen, Brandschutz	Vorerkundung Gasdetektoren, Preventer-Einsatz Schlagwetterschutz	Bohrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden	Notfallplan Brandbekämpfung, Evakuierung Grubenwehr am Standort, Einsatz von Selbstrettern, Wettersteuerung, Schutzräume	Feuertüren, Feuersperren, Wassertrogsperren, Feuerlöscher, Rauch- und Feuermelder	keine
	Erstellen von Erkundungsbohrungen (5.4.13)	QS-System beim Stoßen der Bohrungen					
	Zutritte brennbarer Gase bei der Montage (5.4.2)	Überwachungsmaßnahmen, Brandschutz, Gasdetektoren					
Komponente 3.1.10: Auflockerungszone (Grubenbau)							
Abschalungen und Löser	Spannungsänderung durch Entfestigung und Auflockerung des Gesteins (5.5.7)	Gebirgsmechanische Betriebsüberwachung	Gebirgsschonende Arbeitsmethoden, sofort- und wirkverzögerte Ausbauelemente	Materialien beeinflussen die Hydrochemie	Sicherheitsausrüstungen, geschultes Personal, Notfallpläne Evakuierung, Sperrung gefährdeter Grubenbereiche	Offener und geschlossener Ausbau (Betonschalen, Spritzbeton, Schutzbleche, Schutzkörbe, Netze, Anker)	Verbleibende Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse
	Unsachgemäßer Einbau oder Rückbau von Einbauten (5.5.11)		Sicherungsmaßnahmen, Berauben der Streckenkontur	Vergrößerung des Ausbruchsvolumens			
	Unsachgemäßer Rückbau vom						

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Ausbau (5.5.14)						
	Unsachgemäßer Rückbau vom Ausbau (5.5.15)						
	Entfestigung durch Alteration (5.5.18)						
	Entfestigung durch thermische Expansion oder Kontraktion (5.5.19)	Vermeiden lokal erhöhter Tempera-turdifferenzen					
Komponente 3.1.11: Lösungen (Grubenbau)							
kein EVI abgeleitet							
Komponente 3.1.12: Flüssige Kohlenwasserstoffe (Grubenbau)							
Feuer	Funkenbildung durch Betrieb und Transport (5.7.3)	QS-System, Brandschutzkon-zept, Überwachungs-maßnahmen, Schulung des Per-sonals	Minimierung der Funkenbildung und Brandlasten, Einsatz nichtbrenn-barer Materialien, Überwachungs-messtechnik, Explosionsschutz	keine	Notfallplan Brand-bekämpfung, Evakuierung, Grubenwehr am Standort, Einsatz von Selbstrettern, Schutzräume, Wettersteuerung	Feuertüren, Feuersperren, Wassertrog-Sperren, Feuerlöscher, Rauch- und Feuermelder, Verschließen einer Bohrung / Auffahrung	Bohrungen bzw. Auffahrungen müssen langzeit-sicher verschlos-sen werden
	Unsachgemäßer Einbau oder						

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Rückbau von Einbauten (5.7.11)						
Explosion	Funkenbildung durch Betrieb und Transport (5.7.3)						
	unsachgemäßer Einbau oder Rückbau von Einbauten (5.7.11)						
Komponente 3.1.13: Gase (Grubenbau)							
Feuer	Funkenbildung durch Betrieb und Transport (5.8.3) _____ unsachgemäßer Einbau oder Rückbau von Einbauten (5.8.11)	QS-System Brandschutzkonzept, Überwachungsmaßnahmen, Schulung des Personals	Minimierung der Funkenbildung und Brandlasten, Einsatz nichtbrennbarer Materialien, Überwachungsmesstechnik, Explosionsschutz	keine	Notfallplan Brandbekämpfung, Evakuierung, Grubenwehr am Standort, Einsatz von Selbstrettern, Schutzräume, Wettersteuerung	Feuertüren, Feuersperren, Wassertrog-Sperren, Feuerlöscher, Rauch- und Feuermelder, Verschließen einer Bohrung / Auffahrung	Bohrungen bzw. Auffahrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden
Explosion	Funkenbildung durch Betrieb und Transport (5.8.3) _____ unsachgemäßer Einbau oder Rückbau von Einbauten (5.8.11)						
Komponente 3.1.14: Versatz (Grubenbau)							
Versagen	nicht anforde-	QS-System,	Erprobung anforde-	keine	keine	Ertüchtigung	Materialien be-

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
des Versatzes	rungsgerechter Einbau des Versatzes (5.9.12)	Versatzmaterial, Bauüberwachung, geschultes Personal	rungsgerechtes Einbringen des Versatzes			(Injektion) bzw. Erneuerung des Versatzes	einflussen die hydrochemischen Verhältnisse
	Fehleinschätzung der Versatzkompaktion bzw. Spannungsverhältnisse (5.9.7)	QS-System, Versatzmaterial, Verifizierung der Kompaktion, Bauüberwachung, Fachpersonal	Verifizierung der prognostizierten Kompaktion, Mehrfachbestimmung	keine			
	Fehleinschätzung der Konvergenz (Firstspalt) (5.9.8)	Geomechanische Betriebsüberwachung, Verifizierung der Planungsgrundlagen		keine			
Komponente 3.1.16: Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen (Grubenbau)							
Versagen des Verschlusses einer Erkundungs- oder Überwachungsbohrung	Metallkorrosion in abgeworfenen Bohrlöchern (z.B. Innenliner) (5.10.5)	QS-System, bautechnische Nachweise	Entfernen aller Metallkomponenten	keine	Risikoeinschätzung /-abwägung für Erkundung bzw. Überwachung, bautechnische Nachweise	Ertüchtigung (Injektionen) / Erneuerung des Verschlusses	Verbleibende Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse
	Zementkorrosion der Verfüllung einer Bohrung (5.10.6)	QS-System, bautechnische Nachweise	Anpassung der Rezeptur	Beeinflussung der hydrochemischen Verhältnisse			
	Spannungsänderungen mit Rissbildung	QS-System bautechnische Nachweise,	Auslegung und Ausführungsplanung für erwartete	Beeinflussung der hydrochemischen Verhältnisse,			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	(5.10.7)	Regelungen für Fahrzeugbetrieb und Vermeidung von Unfällen	Lasten, konstruktive Maßnahmen zur Begrenzung der Lasten (z.B. dämpfende Fahrbahn)	Bohrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden			
	Unzureichende Einspannung durch geringe Konvergenz (5.10.8)	Geomechanische Betriebsüberwachung	Redundante und diversitäre Verschlüsse mit quellfähigem Material	Beeinflussung der hydrochemischen Verhältnisse			
	Erosion und Kanalisierung des Verschlusses (5.10.9)	QS-System bautechnische Nachweise, Sicherheitsfaktor bei der Auslegung	Vorerkundung der Einbauorte, redundante und diversitäre Verschlusssysteme	Beeinflussung der hydrochemischen Verhältnisse			
	Menschliche und technische Fehler beim Verfüllen (5.10.13)	QS-System Bauüberwachung, Arbeitsablaufpläne, Fachpersonal		keine			
	Fehlerhafte Einschätzung des Quellvermögens (5.10.17)	QS-System bautechnische Nachweise, regelmäßige Kontrolle	Laboranalyen unter Standortbedingungen, In-situ-Tests, redundante und diversitäre Verschlusssysteme, Verifizierung der hydrochemischen Modellannahmen	Beeinflussung der Hydrochemie			
	thermisch induzierte Rissbildung	QS-System, bautechnische	redundante und diversitäre Ver-	keine			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	(5.10.19)	Nachweise	schlusssysteme, Überwachungs-messungen				
Komponente 3.1.17: Verschlüsse im Bereich von Störungszonen (Grubenbaue)							
Versagen des Verschlusses im Bereich von Störungszonen	Menschliche und technische Fehler beim Auffahren (5.12.1) Menschliche und technische Fehler beim Ausbau und Rückbau (5.12.2)	QS-System, geschultes Personal, Bauüberwachung, zuverlässige Technik	Gebirgsschonende Auffahrung, Überwachungs-messtechnik	keine	Risikoeinschätzung/ -abwägung, bautechnische Nachweise	Ertüchtigung (Injektionen) bzw. Erneuerung des Verschlusses	Verbleibende Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse
	Zementkorrosion (5.12.6)	QS-System, bautechnische Nachweise, Kontrolle der Baustoffe	korrosionsbeständige Materialien, Opferschichten, In-situ-Testbauwerk	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse			
	Spannungsänderungen mit Entfestigung und Rissbildung (5.12.7)	Geomechanische Betriebsüberwachung, abdeckende Lastfälle bei der Auslegung	redundante Verschlusssysteme	Bohrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden			
	Erosion von Bentonit (5.12.9)	QS-System bautechnische Nachweise Vorerkundung der Einbauorte	redundante und diversitäre Verschlusssysteme, Verwendung von wasserfestem Beton	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse			
	Fehler beim Ver-	QS-System,	Überwachungs-	keine			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	schließen einer Bohrung (5.12.13)	bautechnische Nachweise, Fachpersonal, Bauüberwachung	messungen, zertifizierte Technik				
	Fehler bei der Auslegung (5.12.15)	QS-System, bautechnische Nachweise, Fachpersonal, Mehraugenprinzip, aktuelle Erhebung und Auswertung der Daten	redundante und diversitäre Verschlusssysteme, Monitoring	keine			
	Fehlerhafte Einschätzung des Quellvermögens (5.12.17)	QS-System bautechnische Nachweise, Fachpersonal, Mehraugenprinzip, Matrialerforschung	Laboranalyen unter Standortbedingungen, In-situ-Tests, redundante und diversitäre Verschlusssysteme, Materialanpassung	keine			
	Entfestigung durch Alteration (5.11.18)	Geomechanische Betriebsüberwachung, Lokale Erkundung	Gebirgsschonende Auffahrung, Berauben der Kontur, Vergütung durch Injektionen	Beeinflussung der hydrochemischen Verhältnisse			
	thermisch induzierte Rissbildung (5.12.19)	QS-System, bautechnische Nachweise	redundante und diversitäre Verschlusssysteme, Überwachungsmessungen	keine			
Komponente 3.1.18: Streckenverschluss (Grubenbaue)							

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
Versagen eines Streckenverschlusses	Menschliche und technische Fehler beim Auffahren (5.11.1) Menschliche und technische Fehler beim Ausbau und Rückbau (5.11.2)	QS-System, geschultes Personal, Bauüberwachung, zuverlässige Technik	Gebirgsschonende Auffahrung, Überwachungsmesstechnik	keine	Risikoeinschätzung bzw. –abwägung nach Erkundung bzw. bautechnischen Nachweisen	Ertüchtigung (Injektionen) bzw. Erneuerung des Verschlusses	Verbleibende Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse
	Zementkorrosion (5.11.6)	QS-System, bautechnische Nachweise, Kontrolle der Baustoffe	korrosionsbeständige Materialien, Opferschichten, In-situ-Testbauwerk	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse			
	Spannungsänderungen mit Entfestigung und Rissbildung (5.11.7)	Geomechanische Betriebsüberwachung, abdeckende Lastfälle bei Auslegung, QS-System bautechnische Nachweise, Kontrolle der Baustoffe	redundante Verschlusssysteme, In-situ-Testbauwerk keine bergbauliche Tätigkeiten nahe von Verschlüssen	keine			
	Unzureichende Einspannung durch geringe Konvergenz (5.11.8)	Geomechanische Betriebsüberwachung	Überwachungsmesstechnik, redundante Verschlüsse mit quellfähigem Material	Beeinflussung der hydrochemischen Verhältnisse			
	Erosion von Bentonit (5.11.9)	QS-System bautechnische Nachweise	redundante und diversitäre Verschlusssysteme,	Beeinflussung der hydrochemischen			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
		Vorerkundung der Einbauorte	Verwendung von wasserfestem Beton	Verhältnisse			
	Fehler beim Verschließen einer Bohrung (5.11.13)	QS-System, bautechnische Nachweise, Fachpersonal, Bauüberwachung	Überwachungsmessungen, zertifizierte Technik	keine			
	Fehler bei der Auslegung (5.11.15)	QS-System, bautechnische Nachweise, Fachpersonal, Mehraugenprinzip, aktuelle Erhebung und Auswertung der Daten	redundante Verschlusssysteme, Monitoring	keine			
	Fehlerhafte Einschätzung des Quellvermögens (5.11.17)	QS-System bautechnische Nachweise, Fachpersonal, Mehraugenprinzip, Matrialerforschung	Laboranalyen unter Standortbedingungen, In-situ-Tests, redundante und diversitäre Verschlusssysteme, Materialanpassung	Beeinflussung der hydrochemischen Verhältnisse			
	Entfestigung durch Alteration (5.11.18)	Geomechanische Betriebsüberwachung, Lokale Erkundung	Gebirgsschonende Auffahrung, Berauben der Kontur, Vergütung durch Injektionen	Beeinflussung der hydrochemischen Verhältnisse			
	thermisch induzierte Rissbildung	QS-System, bautechnische	redundante und diversitäre Ver-	keine			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	(5.11.19)	Nachweise	schlusssysteme, Überwachungs-messungen				
Komponente 3.1.19: Endlagergebinde und Transferbehälter (Grubenbaue)							
Versagen des Endla-gergebin-des	Technische De-fekte und Unfälle (5.13.3)	QS-System, regelmäßige Kon-trolle und Wartung, Regelungen für den Fahrzeugbetrieb, redundante Ein-schlusssysteme der Behälter	Auslegung der Endlagerbehälter für mögliche Be-triebsunfälle (z.B. Typ B(U) Zulas-sung), Fahrzeuge mit As-sistenzsystemen, breite Fahrbahnen, gut einsehbare „Gefahrenstellen“, Fahrbahnen mit dämpfender Wir-kung	Auslegung des Behälters beein-flusst sein Lang-zeitverhalten	Steuerung der Wetterführung, Notfallpläne Eva-kuierung, Risikoeinschät-zung/ -abwägung, Schutzausrüstung Personal, Medizi-nische Versor-gung	Reparaturen und Dekon-tamination, Einschließen defekter Behäl-ter in Over-packs	Falls Restkonta-minationen und/ oder chemische Substanzen zur Dekontaminie-rung im Gebirge verbleiben
Versagen des Trans-ferbehäl-ters	Technische De-fekte und Unfälle (5.13.3)	QS-System, regelmäßige Kon-trolle und Wartung, Regelungen für den Fahrzeugbetrieb	Auslegung der Transferbehälter für mögliche Betriebs-unfälle (z.B. Typ B(U) Zulassung), Fahrzeuge mit As-sistenzsystemen, breite Fahrbahn, gut einsehbare „Gefahrenstellen“, Fahrbahnen mit dämpfender Wir-	Erhöhung des Ausbruchsvolu-mens	Notfallpläne (Eva-kuierung), Kontrolle und Ri-sikoeinschätzung	Reparatur oder Austausch	keine

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
			kung				
Komponente 3.1.20: Fahrzeuge (Grubenbau)							
Versagen von Bergbaumaschinen	Beschädigungen durch hereinbrechendes Gestein (5.14.1)	QS-System Bauüberwachung, geschultes Personal, gebirgsschonende Auffahrung, regelmäßiges Rauben der Firste, zeitnaher Ausbau	Offener oder geschlossener Ausbau (Spritzbeton, Schutzbleche, Anker / Stahlnetze), Fahrzeuge mit Aufprallblechen und Stahlgittern	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse	Notfallpläne, Bergen des Fahrzeuges	Reparatur oder Tausch defekter Komponenten	keine
	Beschädigungen beim Ausbau der Strecken durch menschliche und technische Fehler (5.14.2)	QS-System Arbeitsablaufpläne, Bauüberwachung, zeitnaher Ausbau	Rauben der Firste, Gebirgsschonende Auffahrung, anforderungsgerechte Auslegung des Ausbaus	Erhöhung des Ausbruchvolumens			
	Technische und menschliche Fehler im Transportverkehr (5.14.3)	Arbeitsablaufpläne, Koordination der Fahrzeugeinsätze, geschultes Personal	Gut einsehbare Streckenführung, Kollisionswarn-, Nothaltesysteme, Bremsassistenten	keine			
	Defekte und Fehlfunktionen durch Metallkorrosion (5.14.5)	QS-System regelmäßige Kontrolle und Wartung der Fahrzeuge	rostfreier Stahl, Schutzanstrich	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Beschädigungen beim Einbringen von Versatz (5.14.12)	QS-System Arbeitsablaufpläne, geschultes Personal	Schutzbleche und Abprallbleche, Assistenzsysteme zur Unfallvermeidung (Nothaltesysteme, Bremsassistent)	keine			
	Beschädigungen beim Erstellen einer Erkundungsbohrung (5.14.13)						
	Beschädigungen beim Errichten eines Streckenverschlusses (5.14.14)						
	Beschädigungen beim Errichten eines Verschlusses im Bereich einer Störungszone (5.14.15)						
Versagen von Transportfahrzeugen	Technische und menschliche Fehler im Transportverkehr (5.14.3)	QS-System, Arbeitsablaufpläne, Koordination der Fahrzeugeinsätze, geschultes Perso-	Gut einsehbare Streckenführung, Übersichtliche Fahrzeuge, Kollisionswarnsys-	keine	Notfallpläne, Evakuierungs- oder Umladevorgänge, Schutzausrüstung	Maßnahmen sind abhängig, ob bei Unfall das Fahrzeug oder auch das	keine

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
		nal	teme, Nothaltesysteme, Bremsassistent		für Mitarbeiter, Kontrolle der Strahlenexposition und Dekontamination, Bergen des Fahrzeuges	Endlagergebinde beschädigt wird, Reparatur, Dekontamination oder Austausch defekter Komponenten	
	Defekte und Fehlfunktionen durch Metallkorrosion (5.14.5)	QS-System, regelmäßige Kontrolle und Wartung der Fahrzeuge	Rostfreie Stähle, Schutzanstrich, Verzinkung	keine			
Beschädigung von Einlagerungsmaschinen	Technische und menschliche Fehler im Transportverkehr (5.14.3)	QS-System, Arbeitsablaufpläne, Koordination der Fahrzeugeinsätze, geschultes Personal	Gut einsehbare Streckenführung, Übersichtliche Fahrzeuge, Kollisionswarnsysteme, Nothaltesysteme, Bremsassistent	keine	Notfallpläne, Evakuierungs- oder Umladevorgänge, Schutzausrüstung für Mitarbeiter, Kontrolle der Strahlenexposition und Dekontamination, Bergen des Fahrzeuges	Maßnahmen sind abhängig, ob bei Unfall das Fahrzeug oder auch das Endlagergebinde beschädigt wird, Reparatur, Dekontamination oder Austausch defekter Komponenten	keine
	Defekte und Fehlfunktionen durch Korrosion von Metallteilen (5.14.5)	QS-System, regelmäßige Kontrolle und Wartung der Fahrzeuge	Rostfreie Stähle, Schutzanstrich, Verzinkung	keine			
Freisetzung chemotoxischer Stoffe	Defekte an Fahrzeugen – Austritt Treibstoff, Abgase (5.14.3)	QS-System, regelmäßige Kontrolle und Wartung der Fahrzeuge, Wetterüberwachung	Elektrofahrzeuge, Katalysatoren zur Abgasreinigung, Warnhinweise bei Defekten, Überwachungssystem der Grubenwetter	keine	Steuerung der Bewetterung, Einsatz von Selbstrettern, Notfallplan Evakuierung	bei erhöhten Schadstoffgrenzwerten Erhöhung des Wetterstroms, Abdichten von Leckagen	keine

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation auf die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Ausstoß von Fahrzeugen (5.14.4)						
	Metallkorrosion (5.14.5)	robuste Komponenten, regelmäßige Wartung	Isolierungen, redundante Komponenten	keine			
Feuer	Zündfunken durch Defekte an Geräten, Anlagen und Fahrzeugen (5.14.3)	betriebliche Regelungen, Brandschutzmaßnahmen	Gas- und Rauchdetektoren, automatische Feuerlöschsysteme, nicht brennbare Materialien	keine	Notfallpläne Evakuierung, Brandbekämpfung, Grubenwehr am Standort, Selbstretter, Wettersteuerung, Schutzräume	Feuertüren schließen, Wassertrog-Sperren, Feuerlöscher, Rauch- und Feuermelder	
Explosion							

Anlage E: Gegenmaßnahmen zur Prävention und Mitigation von EVI in Schächten und Rampen

Die nachfolgende Tabelle zeigt Gegenmaßnahmen zur Prävention und Mitigation von EVI im Teilsystem "Schächte und Rampen".

Die Tabelle ist wie folgt gegliedert:

- Spalte 1: EVI
- Spalte 2: Auslöser der EVI
- Spalte 3 und 4: Maßnahmen zur Prävention der EVI – separiert nach organisatorisch und technisch
- Spalte 5: Auswirkung der Präventionsmaßnahmen auf das Endlagersystem in der Nachbetriebsphase
- Spalte 6 und 7: Maßnahmen zur Mitigation der EVI – separiert nach organisatorisch und technisch
- Spalte 8: Auswirkung der Mitigationsmaßnahmen auf das Endlagersystem in der Nachbetriebsphase.

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation für die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
Komponente 2.1.1: Schacht- und Rampenausbau							
Versagen des Schacht-ausbaus / Rampen-ausbaus	Fehler bei Errich-tung des Ausbaus (4.1.1/4.1.2)	QS-Maßnahmen, Fachpersonal, Ar-beitsanweisungen, Bauüberwachung		keine	Unterbrechung des Förder- und Trans-portbetriebs, Absi-cherung der beschädigten Be-reiche	Temporäre Ab-sicherung des Ausbaus, Abpumpen von Fluiden, Reparatur und Anpassung des Ausbausystem, Abwerfen des Schachts	Abteufen eines neuen Schachts/ Rampe bildet eine zusätzliche Weg-samkeit zwischen Einlagerungssohle und Biosphäre.
	Fehler bei der Planung des Aus-baus (z.B. Dimen-sionierung) (4.1.1/4.1.2)	QS-Maßnahmen, Mehraugenprinzip, Überprüfung durch Sachverständige, Fachpersonal		keine			
	Fehlinterpretatio-nen geologischer Daten (z. B. Ge-birgsspannung) (4.1.1/4.1.2)	QS-Maßnahmen, Mehraugenprinzip, Konservativität, Fortlaufende Erhe-bung und Auswer-tung aktueller Daten	Erkundung und Überwachung mit Bohrungen und Geophysik	Fehler bei Bohr-arbeiten können die Integrität des Gebirges beein-trächtigen			
	Materialfehler / Materialermüdung (4.1.1/4.1.2)	QS-Maßnahmen, Auditierung der Lie-feranten, Prüfung und Wartung ein-gebauter Teile		keine			
	Fehler bei der Planung von Ein-bauten (4.1.3)	QS-Maßnahmen, Mehraugenprinzip, Überprüfung durch Sachverständige, Fachpersonal		keine			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation für die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Fehler bei der Montage von Einbauten (4.1.3)	QS-Maßnahmen, Fachpersonal, Arbeitsanweisungen, Bauüberwachung		keine			
	Beschädigung beim Schacht- / Rampenbetrieb (z. B. Kollision mit Ausbau) (4.1.4/4.1.5)	regelmäßige Prüfung und Wartung der Einbauten, regelmäßige Vermessung der Schachtröhre		keine			
	Metall- und Zementkorrosion (4.1.7/4.1.8)	regelmäßige Prüfung und Wartung	Korrosionsbeständige Materialien, Oberflächenbeschichtung	Beeinflussung der Hydrochemie			
	Spannungsänderungen und Erdbeben (4.1.9)	QS-Maßnahmen bei der Planung, anforderungsgerechte Auslegung	Gebirgsmechanische Überwachung	keine			
	Fehlinterpretation der Konvergenzraten (4.1.10)	QS-Maßnahmen bei der Planung, Sicherheitsfaktor bei der Auslegung	Gebirgsmechanische Überwachung	keine			
	Fluidzutritt mit Auswaschungen (4.1.11)	QS-Maßnahmen bei der Planung, Sicherheitsfaktor bei der Auslegung	Verwendung von wasserdichten und erosionsresistenten Materialien	Beeinflussung der Hydrochemie			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation für die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Rissbildungen durch thermische Expansion oder Kontraktion (4.1.18)	nur durch Klimaeinwirkungen in Kombination mit Fehlern bei der Auslegung (s.o.)		keine			
Komponente 2.1.2: Schachteinbauten							
Feuer	Kabelbrand durch Montagefehler (4.2.3)	QS-Maßnahmen, Fachpersonal, Arbeitsanweisungen, Bauüberwachung	einfache Schaltpläne, Einsatz schwer entflammbarer Isoliermaterialien	keine, Einbauten werden nach der Betriebsphase beraubt	Notfallplan Brandbekämpfung, Evakuierung, Grubenwehr am Standort, Einsatz von Selbstrettern, Wettersteuerung	Feuertüren schließen, Feuerlöscher, Rauch- und Feuermelder, Schließen von Brandklappen im Schachtkeller	keine
	Kabelbrand durch Materialfehler (4.2.3)	QS-Maßnahmen, Auditierung von Lieferanten, Prüfung und Wartung	Einsatz schwer entflammbare Isoliermaterialien				
	Zündfunken und Brandlast (z. B. Führungsrollen), Isolierungen) beim Betrieb (4.2.4)	QS-Maßnahmen regelmäßige Kontrolle und Wartung, Brandschutz	Minimierung der Brandlasten				
Versagen der Schachtfördertechnik	Fehlerhafte Auslegung / Einbau der Schachteinbauten (4.2.3)	QS-Maßnahmen, Mehraugenprinzip, Überprüfung durch Sachverständige, Fachpersonal, Arbeitsanweisungen, Bauüberwachung	Sicherheitsbremse, Übertreibsicherung, Fangklinken, Hilfsfahranlage, Fangvorrichtung	keine, Schachtfördertechnik wird rückgebaut	Unterbrechung Schachtförderbetrieb, Absperrung, Technische Fehleranalyse, Reparaturkonzept	Reparatur	keine, Schachtfördertechnik wird rückgebaut

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation für die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Defekte beim Schachtbetrieb (z.B. Versagen Fahr- und Sicherheitsbremse) (4.2.4)	QS-Maßnahmen, regelmäßige Prüfung und Wartung der Anlage	Auslegung mit Sicherheitsaufschlag, redundante Systeme				
	Überlast (4.2.4)	Fachpersonal für Schachtbetrieb, Arbeitsanweisungen, Überwachungssysteme (Waage)	Überlastschutz, ergonomische Bedienbarkeit der Anlage				
	Metallkorrosion (4.2.7)	regelmäßige Prüfung und Wartung	Korrosionsbeständige Materialien				
	Spannungsänderungen und Erdbeben (4.2.9)	Fachgerechte(r) Planung und Bau der Förderanlage, Sicherheitsfaktor bei der Auslegung	Gebirgsmechanische Überwachung	Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen			
	Fehleinschätzung der Konvergenz (z. B. Verschub der Führung für den Förderkorb) (4.2.10)	regelmäßige Prüfung und Wartung der Einbauten, regelmäßige Vermessung der Schachtröhre	flexibles Ausbausystem mit Toleranz von Gebirgsbewegungen, Gebirgsmechanische Überwachung	keine			
Versagen der	Fehler bei der Auslegung und	QS-Maßnahmen Mehraugenprinzip,		keine	Unterbrechung des Schachtförderbe-	Reparatur der Schachtein-	keine, Schachteinbauten werden vor

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation für die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
Schacht-einbauten	Montage (4.2.3)	Überprüfung durch Sachverständige, Fachpersonal, Arbeitsanweisungen, Bauüberwachung			triebs	bauten	der Stilllegung demontiert
	Defekte durch Schachtbetrieb (4.2.4)	QS-Maßnahmen, regelmäßige Prüfung und Wartung		keine			
	Metallkorrosion (4.2.7)	regelmäßige Prüfung und Wartung	Korrosionsbeständige Materialien	keine			
	Spannungs-änderungen und Erdbeben (4.2.9)	Fachgerechte(r) Planung und Bau der Förderanlage, Sicherheitsfaktor bei der Auslegung	flexibles Ausbausystem mit Toleranzen, Gebirgsmechanische Überwachung	Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen			
	Fehleinschätzung der Konvergenz (4.2.10)	regelmäßige Prüfung und Wartung der Einbauten, regelmäßige Vermessung der Schachtröhre	flexibles Ausbausystem mit Toleranzen, Gebirgsmechanische Überwachung	keine			
	Fluidzutritt mit Auswaschungen (4.2.11)	Fachgerechte(r) Planung und Bau der Förderanlage, Sicherheitsfaktor bei der Auslegung	Einsatz von wasserdichten Ausbausystemen	Beeinflussung der Hydrochemie			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation für die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
Komponente 2.1.3: Rampeneinbauten							
Feuer	Kabelbrand durch Montagefehler (4.3.3)	Einsatz von Fachpersonal, Arbeitsanweisungen, Bauüberwachung	möglichst einfache Schaltpläne, Einsatz schwer entflammbarer Isoliermaterialien	keine, Einbauten werden nach der Betriebsphase beraubt	Notfallplan Brandbekämpfung, Evakuierung, Grubenwehr am Standort, Einsatz von Selbstrettern, Wettersteuerung	Feuertüren schließen, Feuerlöscher, Rauch- und Feuermelder, Schließen von Wettertüren	keine
	Kabelbrand durch Materialfehler (4.3.3)	Auditierung von Lieferanten, regelmäßige Prüfung und Wartung	Einsatz schwer entflammbarer Isoliermaterialien				
	Zündfunken und Brandlast (z. B. Führungsrollen), Isolierungen) beim Betrieb (4.3.5)	QS-Maßnahmen regelmäßige Kontrolle und Wartung, Brandschutz	Minimierung der Brandlasten				
Versagen der Transporttechnik in der Rampe	Fehlerhafte Auslegung / Einbau der Rampeneinbauten (4.3.3)	QS-Maßnahmen, Mehraugenprinzip, Überprüfung durch Sachverständige, Fachpersonal, Arbeitsanweisungen, Bauüberwachung	Sicherheitsbremse, Übertreibsicherung, Fangklinken, Hilfsfahranlage, Fangvorrichtung	keine	Unterbrechung des Rampentransportbetriebs, Absperrung, Technische Fehleranalyse, Reparaturkonzept	Reparatur	keine, Transporttechnik wird vor der Stilllegung demontiert
	Defekte beim Rampenbetrieb (4.3.5)	QS-Maßnahmen, regelmäßige Prüfung und Wartung		keine			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation für die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Metallkorrosion (4.3.7)	regelmäßige Prüfung und Wartung	Korrosionsbeständige Materialien Drainagesysteme	Beeinflussung der Hydrochemie, Änderung der Rampenkontur			
	Zementkorrosion (Fahrbahn, Gleis) (4.3.8)	regelmäßige Prüfung und Wartung	Korrosionsbeständige Materialien, Drainagesysteme				
Versagen der Rampeneinbauten	Fehler bei der Auslegung und Montage (4.3.3)	QS-Maßnahmen Mehraugenprinzip, Fachpersonal, Arbeitsanweisungen, Bauüberwachung		keine			keine, Rampeneinbauten werden vor der Stilllegung entfernt
	Defekte durch Rampenbetrieb (4.3.5)	QS-Maßnahmen, regelmäßige Prüfung und Wartung		keine			
	Metallkorrosion (4.3.7)	regelmäßige Prüfung und Wartung	Korrosionsbeständige Materialien, Drainagesysteme	Änderung der Rampenkontur			
	Zementkorrosion (4.3.8)	regelmäßige Prüfung und Wartung	Korrosionsbeständige Materialien, Drainagesysteme				
	Spannungsänderungen und Erdbeben (4.3.9)	Fachgerechte(r) Planung und Bau der Förderanlage, Sicherheitsfaktor bei der Auslegung	flexibles Ausbausystem mit Toleranzen, Gebirgsmechanische Überwachung	Fehler bei Bohrarbeiten können die Integrität des Gebirges beeinträchtigen			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation für die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Fluidzutritt mit Auswaschungen (4.3.11)	Fachgerechte(r) Planung und Bau der Förderanlage, Sicherheitsfaktor bei der Auslegung	Einsatz von wasserdichten Ausbausystemen	Beeinflussung der Hydrochemie			
Komponente 2.1.4: Wirtsgestein							
Bläser	Anfahren von unerkannten Gasreservoiren (4.4.1/4.4.2)	Vorerkundung, Überwachung des Gebirges	Erkundungs- und Entgasungsbohrungen, Gasdetektoren, Preventer-Einsatz, Gebirgsschonende Auffahrung	Bohrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden	Notfallplan Evakuierung, Grubenwehr am Standort, Einsatz von Selbstrettern	Abdichten von Leckagen (ggf. Injektionen), kontrollierte Entgasung	Beeinflussung durch Injektionen
	Anbohren von unerkannten Gasreservoiren bei der Montage (4.4.3)						
	Gaszutritte bei Änderung der Gebirgsspannungen (4.4.9)						
	Erstellen von Erkundungsbohrungen (4.4.13)	QS-System beim Stoßen der Bohrungen	Bohrlochgeophysik, Schlagwetterschutz, Preventer-Einsatz	Bohrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden			
Freisetzung	Anfahren von unerkannten	Vorerkundung, Überwachung des	Entgasungsbohrungen, Gasdetekto-	Bohrungen müssen langzeitsicher	Notfallplan Evakuierung,	Abdichten von Leckagen (ggf.	verbleibende Materialien beeinflus-

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation für die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
chemotoxischer Stoffe	Fluidreservoiren (4.4.1/4.4.2)	Gebirges	ren, Überwachungsmesstechnik, Preventer-Einsatz, Schlagwetterschutz	verschlossen werden	Einsatz von Selbstrettern, Schutzausrüstung für Personal, Medizinische Versorgung	Injektionen), kontrollierte Entgasung	sen die hydrochemischen Verhältnisse
	Anbohren von unerkannten Fluidreservoiren bei der Montage (4.4.3)						
	Zutritte durch Spannungsänderungen (4.4.9)						
	Erstellen von Erkundungsbohrungen (4.4.13)	QS-System beim Stoßen der Bohrungen	Geophysik, Schlagwetterschutz, Preventer-Einsatz				
Freisetzung radioaktiver Stoffe	Anfahren von Fluidreservoiren – z.B. mit Radon (4.4.1/4.4.2)	Vorerkundung, Überwachung des Gebirges	Entgasungsbohrungen,Überwachungsmesstechnik, Preventer-Einsatz	Bohrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden	Notfallplan Evakuierung, Strahlenschutzmaßnahmen, Schutzausrüstung für Personal, Medizinische Versorgung Risikoeinschätzung	Verschließen betroffener Bereiche Errichten von Barrieren, Abdichten von Leckagen, Bewetterung und Filterung der Wetter	Verbleibende Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse.
	Anbohren von Fluidreservoiren mit Radon bei Montagearbeiten (4.4.3)						

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation für die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Zutritte durch Spannungs-änderungen (4.4.9)						
	Erstellen von Erkundungsbohrungen (4.4.13)	QS-System beim Stoßen der Bohrungen	Geophysik, Schlagwetterschutz, Preventer-Einsatz				
Feuer	Zutritt brennbarer Gase beim Abteufen oder Auffahren (4.4.1/4.4.2)	Überwachungsmaßnahmen, Brandschutz	Entgasungsbohrungen, Gasdetektoren Schlagwetterschutz, Preventer-Einsatz	Bohrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden	Notfallplan Brandbekämpfung, Evakuierung, Grubenwehr am Standort, Einsatz von Selbstrettern, Wettersteuerung, Schutzräume	Schließen der Brandklappen und Wettertüren, Feuersperren, Wassertrogsperren, Feuerlöscher, Rauch-und Feuermelder	keine
	Zutritt brennbarer Gase durch Montagearbeiten (4.4.3)						
	Erstellen von Erkundungsbohrungen (4.4.13)	QS-System beim Stoßen der Bohrungen	Geophysik, Schlagwetterschutz, Preventer-Einsatz				
Explosion	Zutritt brennbarer Gase beim Abteufen oder Auffahren (4.4.1/4.4.2)	Überwachungsmaßnahmen, Brandschutz	Entgasungsbohrungen, Gasdetektoren, Schlagwetterschutz, Preventer-Einsatz	Bohrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden	Notfallplan Brandbekämpfung, Evakuierung, Grubenwehr am Standort, Einsatz von Selbstrettern, Wettersteuerung	Schließen der Brandklappen und Wettertüren, Feuersperren, Wassertrogsperren, Feuerlöscher,	keine
	Zutritt brennbarer Gase durch Mon-						

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation für die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	tagearbeiten (4.4.3)					Rauch-und Feuermelder, Schutzräume für Personal	
	Erstellen von Erkundungsbohrungen (4.4.13)	QS-System beim Stoßen der Bohrungen	Geophysik, Schlagwetterschutz, Preventer-Einsatz				
Flutung des Grubengebäudes	Anfahren von unerkannten Fluidreservoiren (4.4.1/4.4.2)	Vorerkundung, Überwachung des Gebirges	Vorerkundung, Gebirgsschonende Auffahrung, Preventer-Einsatz, Abdichtung von Zutrittsstellen	Beeinflussung der hydrochemischen Verhältnisse, Bohrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden	Notfallpläne Schadensbegrenzung, Evakuierung, zusätzlicher Pumpeneinsatz	Ertüchtigung des Ausbaus, temporäre Abdichtung, Abpumpen der zutretenden Lösungen, Schacht- bzw. Rampensanierung	Verbleibende Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse
	Lösungszutritte bei Spannungsänderungen (4.4.9)						
	Erstellen von Erkundungsbohrungen (4.4.13)	QS-System beim Stoßen der Bohrungen	Geophysik, Schlagwetterschutz, Preventer-Einsatz				
Komponente 2.1.5: Deck- und Nebengebirge							
Bläser	Anfahren von unerkannten Gasreservoiren (4.5.1/4.5.2)	Vorerkundung, Überwachung des Gebirges	Erkundungs- und Entgasungsbohrungen, Gasdetektoren Preventer-Einsatz, Gebirgsschonende Auffahrung	Bohrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden	Notfallplan Evakuierung, Grubenwehr am Standort, Einsatz von Selbstrettern	Abdichten von Leckagen (ggf. Injektionen), kontrollierte Entgasung	Verbleibende Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation für die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Erstellen von Erkundungsbohrungen (4.5.13)	QS-System beim Stoßen der Bohrungen	Geophysik, Schlagwetterschutz, Preventer-Einsatz				
Flutung des Grubengebäudes	Anfahren von unerkannten Fluidreservoiren (4.5.1/4.5.2)	Vorerkundung, Überwachung des Gebirges	Erkundungsbohrungen, Preventer-Einsatz, Gebirgsschonende Auffahrung, Abdichtung von Zutrittsstellen	Bohrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden, Beeinflussung der hydrochemischen Verhältnisse	Notfallplan Evakuierung, Grubenwehr am Standort	Abpumpen der zutretenden Lösungen, Abdichtung von Zutritten (ggf. Injektionen)	Verbleibende Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse
	Erstellen von Erkundungsbohrungen (4.5.13)	QS-System beim Stoßen der Bohrungen	Geophysik, Drainagesysteme, Preventer-Einsatz				
Freisetzung von chemotoxischen Stoffen	Anfahren von unerkannten Fluidreservoiren (4.5.1/4.5.2)	Vorerkundung, Überwachung des Gebirges, Wettermonitoring	Entgasungsbohrungen, Gasdetektoren Preventer-Einsatz, Gebirgsschonende Auffahrung	Bohrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden	Steuerung der Bewetterung, Einsatz von Selbstrettern, Notfallplan Evakuierung, Schutzausrüstung für Personal, Medizinische Versorgung	Abdichten von Leckagen (ggf. Injektionen), Bohrlochverschluss	verbleibende Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse
	Erstellen von Erkundungsbohrungen (4.5.13)	QS-System beim Stoßen der Bohrungen	Geophysik, Drainagesysteme, Preventer-Einsatz				
Freisetzung von radioaktiven Stoffen	Anfahren von Fluidreservoiren – z.B. mit Radon (4.5.1/4.5.2)	Vorerkundung, Überwachung des Gebirges, Wettermonitoring	Entgasungsbohrungen, Überwachung, Preventer-Einsatz, Gebirgsschonende	Bohrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden	Steuerung der Bewetterung, Einsatz von Selbstrettern,	Abdichten von Leckagen (ggf. Injektionen) Bohrlochver-	verbleibende Materialien beeinflussen die hydrochemischen

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation für die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
			Auffahrung		Notfallplan Evakuierung, Schutzausrüstung für Personal, Medizinische Versorgung	schluss Bewetterung und Filterung der Wetter	Verhältnisse
	Erstellen von Erkundungsbohrungen (4.5.13)	QS-System beim Stoßen der Bohrungen	Geophysik, Drainagesysteme, Preventer-Einsatz				
Feuer	Zutritt brennbarer Gase beim Abteufen oder Auffahren (4.5.1/4.5.2)	Überwachungsmaßnahmen, Brandschutz	Entgasungsbohrungen, Gasdetektoren Schlagwetterschutz, Preventer-Einsatz	Bohrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden	Notfallplan Brandbekämpfung, Evakuierung, Grubenwehr am Standort, Einsatz von Selbstrettern, Wettersteuerung, Schutzräume	Schließen der Brandklappen und Wettertüren, Feuersperren, Wassertrogsperren, Feuerlöscher, Rauch-und Feuermelder	keine
	Erstellen von Erkundungsbohrungen (4.5.13)		Geophysik, Drainagesysteme, Preventer-Einsatz				
Explosion	Zutritt brennbarer Gase beim Abteufen oder Auffahren (4.5.1/4.5.2)	Überwachungsmaßnahmen, Brandschutz	Entgasungsbohrungen, Gasdetektoren, Schlagwetterschutz, Preventer-Einsatz	Bohrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden	Notfallplan Brandbekämpfung, Evakuierung, Grubenwehr am Standort, Einsatz von Selbstrettern, Wettersteuerung, Schutzräume	Schließen der Brandklappen und Wettertüren, Feuersperren, Wassertrogsperren, Feuerlöscher, Rauch-und Feuermelder	keine
	Erstellen von Erkundungsbohrungen (4.5.13)	QS-System beim Stoßen der Bohrungen	Geophysik, Drainagesysteme, Preventer-Einsatz				

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation für die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
Komponente 2.1.6: Auflockerungszone							
Abschalungen und Löser (nur, wenn gebirgsmechanische Verhältnisse im nicht ausgebauten Bereich falsch eingeschätzt)	Spannungsänderungen durch Einbau des Schacht- und Rampenverschlusses (4.6.9)	Gebirgsmechanische Betriebsüberwachung	Gebirgsschonende Arbeitsmethoden, kleinräumiges Arbeiten	Beeinflussung der Gebirgsspannung und hydraulischen Verhältnisse, Vergrößerung des Ausbruchsvolumens	Sicherheitsausrüstungen, geschultes Personal, kein Personal in gefährdeten Bereichen	Offener und geschlossener Ausbau, Schutzvorrichtungen gegen Löserfall, z. B. Bedachung von Arbeitsbühnen	Verbleibende Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse
	Alteration der Auflockerungszone durch Lösungszutritt (4.6.17)		Sicherungsmaßnahmen (Betonausbau), Berauben der Streckenkontur				
	Entfestigung durch thermische Expansion oder Kontraktion (4.6.18)						
Komponente 2.1.7: Lösungen							
kein EVI abgeleitet							
Komponente 2.1.8: Flüssige Kohlenwasserstoffe							
Feuer	Funkenbildung bei Montagearbeiten (4.8.3)	QS-System, Brandschutzkonzept, Überwachungs-	Minimierung der Funkenbildung und Brandlasten, Einsatz nichtbrenn-	keine	Notfallplan Brandbekämpfung, Evakuierung, Grubenwehr am	Feuertüren, Feuersperren, Wassertrog-Sperren,	Bohrungen bzw. Auffahrungen müssen langzeitsicher verschlossen

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation für die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
		maßnahmen,	barer Materialien,		Standort, Einsatz von Selbstrettern, Schutzräume, Wettersteuerung	Feuerlöscher, Rauch- und Feuermelder, Verschließen einer Bohrung / Auffahrung, Messtechnik Überwachung	werden
	Funkenflug beim Schachtbetrieb (4.8.4)	Schulung des Personals	Überwachungsmesstechnik				
	Funkenflug beim Rampenbetrieb (4.8.5)						
Explosion	Funkenbildung bei Montagearbeiten (4.8.3)	QS-System, Brandschutzkonzept, Überwachungsmaßnahmen,	Minimierung der Funkenbildung und Brandlasten, Einsatz nichtbrennbarer Materialien, Schlagwetterschutz,	Keine			
	Funkenflug beim Schachtbetrieb (4.8.4)	Schulung des Personals	Bewetterung zur Vermeidung explosiver Gasgemische				
	Funkenflug beim Rampenbetrieb (4.8.5)						
Komponente 2.1.9: Gase							
Feuer	Funkenflug bei Montagearbeiten an Schacht und	QS-System, Brandschutzkonzept, Überwachungs-	Minimierung der Funkenbildung und Brandlasten, Einsatz nichtbrenn-	keine	Notfallplan Brandbekämpfung, Evakuierung, Grubenwehr am	Feuertüren, Feuersperren, Wassertrog-Sperren,	Bohrungen bzw. Auffahrungen müssen langzeitsicher verschlossen

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation für die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Rampe (4.9.3)	maßnahmen,	barer Materialien,		Standort, Einsatz von Selbstrettern, Schutzräume, Wettersteuerung	Feuerlöscher, Rauch- und Feuermelder, Verschließen einer Bohrung / Auffahrung, Messtechnik Überwachung	werden
	Funkenflug beim Schachtbetrieb (4.9.4)	Schulung des Personals	Überwachungsmesstechnik				
	Funkenflug beim Rampenbetrieb (4.9.5)						
Explosion	Funkenflug bei Montagearbeiten an Schacht und Rampe (4.9.3)	QS-System, Brandschutzkonzept, Überwachungsmaßnahmen,	Minimierung der Funkenbildung und Brandlasten, Einsatz nichtbrennbarer Materialien, Schlagwetterschutz,	Keine			
	Funkenflug beim Schachtbetrieb (4.9.4)	Schulung des Personals	Bewetterung zur Vermeidung explosiver Gasgemische				
	Funkenflug beim Rampenbetrieb (4.9.5)						
Komponente 2.1.10: Erkundungs- oder Überwachungsbohrungen							
Versagen des Verschlusses einer Er-	Metallkorrosion in abgeworfenen Bohrlöchern (z. B. Innenliner)	QS-System, bautechnische Nachweise	Entfernen aller Metallkomponenten	keine	Risikoeinschätzung /-abwägung für Erkundung bzw. Überwachung,	Ertüchtigung (Injektionen) / Erneuerung des Verschlus-	Verbleibende Materialien beeinflussen die hydrochemischen

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation für die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
kundungs- oder Über-wachungs-bohrung	(4.10.7)				bautechnische Nachweise	ses	Verhältnisse
	Zementkorrosion der Verfüllung einer Bohrung (4.10.8)	QS-System, bautechnische Nachweise	Anpassung der Re-zeptur	Beeinflussung der Hydrochemie			
	Rissbildungen durch Spannungs-änderung (4.10.9)	QS-System bautechnische Nachweise, Einschränkung von bergbaulicher Tätig-keit	Ausführungspla-nung für erwartete Lasten und Ein-flussfaktoren, redundante und diversitäre Ver-schlusssysteme	Bohrungen müs-sen langzeitsicher verschlossen werden, Materialien beein-flussen die hydro-chemischen Verhältnisse			
	Erosion und Kanalisierung des Verschlusses (4.10.11)	QS-System bautechnische Nachweise, Sicherheitsfaktor bei der Auslegung					
	Unzureichende Einspannung durch geringe Konvergenz (4.10.10)	Geomechanische Betriebsüberwa-chung					
	Menschliche und technische Fehler beim Verfüllen (4.10.13)	QS-Maßnahmen, Bauüberwachung, Arbeitsablaufpläne, Fachpersonal		keine			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation für die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Fehlerhafte Einschätzung des Quellvermögens (4.10.16)	QS-System bautechnische Nachweise, regelmäßige Kontrolle	redundante und diversitäre Verschlusssysteme, Verifizierung der hydrochemischen Modellannahmen	Beeinflussung der hydrochemischen Verhältnisse			
Feuer	Zutritt brennbarer Gase (4.10.11)	QS-System, Brandschutzkonzept, Überwachungsmaßnahmen	Drainage- und Entgasungsbohrungen, Preventer-Einsatz, Schlagwetterschutz, Überwachungsmesstechnik	Bohrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden	Notfallplan Brandbekämpfung, Evakuierung, Grubenwehr am Standort, Einsatz von Selbstrettern, Schutzräume, Wettersteuerung	Feuertüren, Feuersperren, Wassertrog-Sperren, Feuerlöscher, Rauch- und Feuermelder, Verschließen einer Bohrung / Auffahrung Überwachungsmesstechnik	Bohrungen bzw. Auffahrungen müssen langzeitsicher verschlossen werden
Explosion	Zutritt brennbarer Gase (4.10.11)						
Komponente 2.1.11: Schacht- und Rampenverschluss							
Versagen des Schacht- und Rampenverschlusses	Zementkorrosion (4.12.8)	QS-System, bautechnische Nachweise, Kontrolle der Baustoffe	korrosionsbeständige Materialien, In-situ-Testbauwerk	Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse	Risikoeinschätzung / -abwägung, bautechnische Nachweise	Ertüchtigung (Injektionen) bzw. Erneuerung des Verschlusses	Verbleibende Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse
	Spannungsänderungen mit Entfestigung und	Geomechanische Betriebsüberwachung, abdeckende	redundante Verschlusssysteme	Bohrungen müssen langzeitsicher verschlossen			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation für die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
	Rissbildung (4.12.9)	Lastfälle bei der Auslegung		werden, Materialien beeinflussen die hydrochemischen Verhältnisse			
	Unzureichende Einspannung durch geringe Konvergenz (4.12.10)	Geomechanische Betriebsüberwachung	Auslegung und Ausführungsplanung für erwartete Einflussfaktoren,				
	Erosion und Kanalisierung des Verschlusses (4.12.11)	QS-System bautechnische Nachweise, Sicherheitsfaktor bei der Auslegung, Vorerkundung	redundante und diversitäre Verschlusssysteme				
	Technische Fehler beim Verschließen einer Bohrung (4.12.13)	QS-System, bautechnische Nachweise, Bauüberwachung, Fachpersonal					
	Fehler bei Einbau des Schacht- und Rampenverschlusses (4.12.14)	QS-System, bautechnische Nachweise, Bauüberwachung, Fachpersonal	redundante und diversitäre Verschlusssysteme, in-situ-Testbauwerk Monitoring	keine			
	Entfestigung durch Alteration (4.12.17)	Geomechanische Betriebsüberwachung, Lokale Er-	Gebirgsschonende Auffahrung, Berauben der Kontur,	Beeinflussung der hydrochemischen Verhältnisse			

EVI	Auslöser (Kapitel-Nr.)	Maßnahmen zur Prävention des EVI		Auswirkung der Prävention auf die LZS	Maßnahmen zur Mitigation		Auswirkung der Mitigation für die LZS
		Organisatorisch	Technisch		Organisatorisch	Technisch	
		kundung	Vergütung durch Injektionen				
	Fehlerhafte Einschätzung des Quellvermögens (4.12.16)	QS-System bautechnische Nachweise, Fachpersonal, Mehraugenprinzip, Matrialerforschung	Laboranalyen unter Standortbedingungen, In-situ-Tests, redundante und diversitäre Verschlusssysteme, Materialanpassung	Beeinflussung der hydrochemischen Verhältnisse			
Komponente 2.1.12: Endlagergebinde und Transferbehälter (Schacht und Rampe)							
Versagen des Endlagergebindes oder Transferbehälters	Schachtbetrieb (z. B. Absturz) (4.11.4)	QS-System, regelmäßige Kontrolle und Wartung, Regelungen für Schacht- bzw. Rampenbetrieb,	Auslegung der Endlagerbehälter für mögliche Betriebsunfälle (z.B. Typ B(U) Zulassung)	Auslegung des Behälters beeinflusst sein Langzeitverhalten	beim Versagen eines Endlager- und/oder Transferbehälters kann Dekontaminierung der erforderlich sein		Falls Restkontaminationen und/ oder chemische Substanzen zur Dekontaminierung im Gebirge verbleiben
	Rampenbetrieb (z. B. Kollision) (4.11.5)	redundante Einschlusssysteme der Behälter			Steuerung der Wetterführung, Notfallpläne Evakuierung, Risikoeinschätzung / -abwägung, Schutzausrüstung Personal, Medizinische Versorgung	Reparaturen und Dekontamination, Einschließen defekter Behälter in Overpacks	