Überprüfung und Bewertung des Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HAW

ISIBEL

Erläuterungen zur Revision des FEP-Katalogs unter Berücksichtigung der Anmerkungen des Review-Teams

Überprüfung und Bewertung des Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HAW

ISIBEL

Erläuterungen zur Revision des FEP-Katalogs unter Berücksichtigung der Anmerkungen des Review-Teams

Dokumentenkennzeichen TEC-06-2010-AP

Rev.	Datum	eigene Nr.	Grund / Beschreibung

	geprüft: ...../...../..... Dr. Krone Dr. Mönig Dr. Weber

102 Seiten

April 2010

J. Krone
A. Lommerzheim
DBE TECHNOLOGY GmbH

S. Keller
S. Mrugalla
J. R. Weber
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)

D. Buhmann
J. Mönig
J. Wolf
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH

Die dieser Studie zugrunde liegenden Arbeiten wurden im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages von der BGR sowie, vertreten durch das Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Projektträger Karlsruhe, Bereich Wassertechnologie und Entsorgung (PTKA-WTE), unter den Förderkennzeichen 02E10055 und 02E10065 von der GRS bzw. DBE TECHNOLOGY GmbH durchgeführt. Die Verantwortung für den Inhalt liegt jedoch allein bei den Autoren.

Vorwort

Im Rahmen des Projektes ISIBEL wurde ein Sicherheits- und Nachweiskonzept für die sicherheitliche Bewertung von Endlagern für hochradioaktive Abfälle in der Wirtsformation Salzgestein entwickelt. Dabei wurde untersucht, inwieweit das Instrumentarium für die Bewertung der Betriebs- und Nachbetriebsphase eines solchen Endlagers vorhanden, bzw. ausreichend ist. Das Vorhaben wurde in zwei Projektphasen abgewickelt: Phase I im Zeitraum 01.10.2005 bis 31.12.2007 und Phase II im Zeitraum 01.01.2008 bis 31.03.2010. Die Ergebnisse beider Phasen wurden jeweils zu deren Abschluss in einer Reihe von Berichten veröffentlicht, die nachfolgend aufgeführt sind.

Berichte der Phase I

Zusammenfassender Bericht Phase I

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

Einzelberichte zu den verschiedenen Arbeitspaketen

1. Langzeitsicherheitsanalyse für ein HAW-Endlager im Salz – Geologisches Referenzmodell für einen HAW-Endlagerstandort im Salz – Technischer Bericht. Beitrag für das Projekt ISIBEL. BGR, Hannover, Tagebuchnummer 11614/05, Juli 2007.

2. Konzeptionelle Endlagerplanung und Zusammenstellung des endzulagernden Inventars. DBE TECHNOLOGY GmbH, Peine, April 2008.

3. Bewertung der Betriebssicherheit. DBE TECHNOLOGY GmbH, Peine, April 2008.

4. FEP-Generierung und Szenarienentwicklung – Stand November 2006. BGR, Hannover, Tagebuchnummer 10402/08, Februar 2008.

5. Nachweis der Integrität der geologischen Barriere. BGR, Hannover, Tagebuchnummer 10403/08, September 2007.

6. Nachweiskonzept zur Integrität der einschlusswirksamen technischen Barrieren. DBE TECHNOLOGY GmbH, Peine, April 2008.

7. Untersuchungen zur Ermittlung und Bewertung von Freisetzungsszenarien. GRS Braunschweig, Bericht GRS-233, April 2008.

8. Nachweiskonzepte für die Einhaltung der nicht radiologischen Schutzziele in der Nachbetriebsphase. DBE TECHNOLOGY GmbH, Peine, April 2008.

9. FEP-Katalog für einen HAW-Standort im Wirtsgestein Salz. Gemeinsamer Bericht von DBE TECHNOLOGY GmbH, BGR und GRS. Peine, Hannover, Braunschweig, April 2008.

Berichte der Phase II

Zusammenfassender Abschlussbericht für die Phasen I und II

Überprüfung und Bewertung des Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HAW – ISIBEL. Gemeinsamer Abschlussbericht von BGR, DBE TECHNOLOGY GmbH und GRS. Hannover, Peine, Braunschweig, April 2010.

Einzelberichte zu den verschiedenen Arbeitspaketen der Phase II

10. FEP-Katalog für einen HAW-Standort im Wirtsgestein Salz. Revision 01. Gemeinsamer Bericht von BGR, DBE TECHNOLOGY GmbH und GRS. Hannover, Peine, Braunschweig,, April 2010,

11. Erläuterungen zur Revision des FEP-Kataloges. Gemeinsamer Bericht von BGR, DBE TECHNOLOGY GmbH und GRS. Hannover, Peine, Braunschweig,, April 2010.

12. Entwicklung und Test einer Methodik zur Ableitung eines Referenzszenarios. Gemeinsamer Bericht von BGR, DBE TECHNOLOGY GmbH und GRS. Hannover, Peine, Braunschweig, April 2010.

13. Nachweis und Bewertung des Isolationszustandes „Sicherer Einschluss“. Gemeinsamer Bericht von BGR, DBE TECHNOLOGY GmbH und GRS. Hannover, Peine, Braunschweig, April 2010.

14. Behandlung von Ungewissheiten im Langzeitsicherheitsnachweis für ein HAW-Endlager in Salzgesteinen. Gemeinsamer Bericht von BGR, DBE TECHNOLOGY GmbH und GRS. Hannover, Peine, Braunschweig, April 2010.

15. Vorgehensweise bei einem Safety-Case-Konzept für ein HAW-Endlager im Salinar. Gemeinsamer Bericht von BGR, DBE TECHNOLOGY GmbH und GRS. Hannover, Peine, Braunschweig, April 2010.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 10
2 Allgemeine und methodische Aspekte 11
2.1 Allgemeines 11
2.2 Bezug des FEP-Katalogs zur NEA-FEP-Datenbasis 15
2.3 Struktur und Gliederung der Einträge 16
3 Änderungen der FEP-Einträge 18
4. Literatur 102

1 Einleitung

Eine wesentliche Voraussetzung für den Langzeitsicherheitsnachweis eines Endlagers stellt die Szenarienentwicklung dar, die auf einer Beschreibung aller relevanten Eigenschaften, Ereignisse und Prozesse basiert, die in einem FEP-Katalog zusammengefasst werden.

Im Rahmen des F&E-Projektes ISIBEL wurde erstmals ein FEP-Katalog für die Endlagerung ausgedienter Brennelemente und anderer hochradioaktiver Abfälle mit nennenswerter Wärmeentwicklung in einem Salzstock am Beispiel eines Referenzstandortes in der norddeutschen Tiefebene erstellt.

Da subjektive Prägungen in der Struktur des FEP-Katalogs, der Art der FEP-Beschreibungen und den FEP-Beschreibungen selber nicht zu vermeiden sind, wurde als Qualitätssicherungsmaßnahme sowie zur Identifizierung von Verbesserungspotential ein nationaler „Peer Review“ durch eine Gruppe nicht am Projekt ISIBEL beteiligter Experten durchgeführt. Dieses Vorgehen soll auch zur Verbesserung der Transparenz und Nachvollziehbarkeit des FEP-Katalogs und der daraus abgeleiteten Szenarienentwicklung beitragen und ist international ein wichtiger Bestandteil des Endlagerentwicklungsprozesses. Das Review-Team hat sich bei seiner Arbeitsweise am international üblichen Vorgehen bei derartigen Reviews orientiert. Nach einem Kick-off-Meeting, bei dem der FEP-Katalog und das Reviewkonzept erläutert wurden, hat das Review-Team mit der formalen und inhaltlichen Prüfung des FEP-Katalogs begonnen. In einem nächsten Schritt wurde dem ISIBEL-Team eine Liste mit Fragen und Anmerkungen vorgelegt, die sich in den Bereich „Allgemeine und methodische Fragen“ sowie „Kommentare zu einzelnen FEPs“ gliedert. Diese Fragen des Review-Teams wurde auf zwei Treffen mit dem ISIBEL-Team erläutert und diskutiert. Ziel war es dabei, beiderseitige Missverständnisse auszuräumen. Das ISIBEL-Team hat im Anschluss auch in schriftlicher Form zu den Anmerkungen des Review-Teams Stellung genommen. Der im September 2009 vorgelegte Abschlussbericht des Review-Teams stellt nur die Anmerkungen des Review-Teams dar, während die Stellungnahmen des ISIBEL-Teams nicht dargestellt werden.

Unabhängig von der Prüfung durch das Review-Team haben sich durch die weitere Bearbeitung des Projektes ISIBEL zusätzliche Änderungen im FEP-Katalog ergeben. Diese Änderungen sind ebenfalls in die Revision des FEP-Katalogs eingeflossen.

Im vorliegenden Bericht werden alle Aspekte der Revision des FEP-Katalogs zusammenfassend dargestellt und erläutert. Anmerkungen des Review-Teams (RT) sind dabei jeweils im Fett/Kursiv-Druck ggf. gekürzt wiedergegeben. Eigene Änderungen infolge der Diskussion innerhalb des ISIBEL-Teams werden mit „IT“ markiert und in Fett/Kursiv dargestellt. Die Erläuterungen gliedern sich in „Allgemeine und methodische Aspekte“ und „Änderungen der FEP-Einträge“.

2 Allgemeine und methodische Aspekte

2.1 Allgemeines

RT: Es handelt sich um einen standortspezifischen FEP-Katalog. Insofern ist die Verwendung des Begriffes „Referenzstandort“ missverständlich.

Um die Methodik des Langzeitsicherheitsnachweises für ein Endlager in einem norddeutschen Salzstock exemplarisch anwenden zu können, wurde ein Referenzstandort zugrunde gelegt, der die Ableitung eines standortspezifischen FEP-Katalogs ermöglicht. Bei dem ausgewählten Referenzstandort handelt es sich um ein Modell, das die Ergebnisse der Erkundung des Salzstockes Gorleben berücksichtigt. Der abgeleitete FEP-Katalog ist nicht unmittelbar auf andere Salzstöcke übertragbar. Es ist zwar davon auszugehen, dass die Geologie, Struktur und Entwicklung vieler norddeutscher Salzstöcke ähnlich ist, doch wird die Ausprägung vieler FEPs von den standortspezifischen Gegebenheiten abhängen.

RT: Wenn der FEP-Katalog einen Beitrag zum Nachweis der Langzeitsicherheit eines etwaigen Endlagers am Standort Gorleben leisten soll, ergeben sich hohe Anforderungen an das zugrunde liegende geowissenschaftliche Modell des Endlagersystems, an das Systemverständnis im Hinblick auf die im Endlagersystem ablaufenden bzw. auf es einwirkenden Ereignisse und Prozesse, sowie an die für die Bewertung erforderlichen Informationen.

Das Projekt ISIBEL stellt ein Forschungsprojekt dar, in dem die Methodik des Langzeitsicherheitsnachweises untersucht wird. Die Erstellung einer Antragsunterlage ist nicht vorgesehen. Der Standort Gorleben hat für den „Referenzstandort“ die zur Erstellung des FEP-Katalogs erforderliche geologische Datenbasis geliefert. Bei Erstellung eines Safety Case für ein Endlager am Standort Gorleben ist der FEP- Katalog unter Berücksichtigung, der Ergebnissen der fortschreitenden Erkundung anzupassen.

RT: Es wird empfohlen, innerhalb des Teilsystems „Wirtsgestein“ petrographisch und funktional unterschiedliche Bereiche zu trennen.

Diese Anmerkung des RT beruht auf einer uneinheitlichen Verwendung das Begriffs Wirtsgestein in der vorgelegeten Version des FEP-Katalogs. Daher wurden die FEP-Beschreibungen im Hinblick auf eine einheitliche Verwendung des Begriffs „Wirtsgestein“ gemäß Definition im Kap. 6 des FEP-Katalogs überprüft und bei Bedarf überarbeitet. Innerhalb des Wirtsgesteins werden verschiedene petrographisch / stratigraphische Einheiten unterschieden (z.B. Hauptsalz, Hauptanhydrit). Funktional ist darüber hinaus die Ausweisung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs maßgebend.

RT: Es wird empfohlen, den Bezug zum Gedanken des „einschlusswirksamen Gebirgsbereich“ herzustellen und zu erläutern.

Das Grundkonzept des Sicherheitsnachweises im ISIBEL-Projekt baut konsequent auf dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich auf und befindet sich somit in Einklang mit den Sicherheitsanforderungen des BMU. In den FEP-Beschreibungen wird zudem explizit die (beeinträchtigenden) Einwirkung des jeweiligen FEP auf die Funktion der einschlusswirksamen Barrieren beschrieben. Der einschlusswirksame Gebirgsbereich wird im Glossar wie folgt definiert:
Der einschlusswirksame Gebirgsbereich liegt in einem Teil des Salzstocks, der zum Betrachtungszeitpunkt nicht durch Subrosion oder Erosion beeinträchtigt wird. Innerhalb dieses Teilbereichs umschließt der einschlusswirksame Gebirgsbereich das die Grubenbaue umgebende Gebirge mit ausreichendem Abstand zu geologischen Einheiten, die Wegsamkeiten zu grundwasserführenden Schichten ausbilden können.

RT: Die Literaturauswahl erscheint vielfach unausgewogen…Bei der Auswahl der Literaturquellen fällt eine Konzentration auf Beiträge aus den beteiligten Institutionen auf, die z.T. nicht veröffentlicht sind.

Die Literaturverzeichnisse der FEP-Beschreibungen wurden überprüft und soweit möglich ergänzt. Ein Teil der zitierten Unterlagen ist nicht veröffentlicht, da es sich einerseits um Unterlagen handelt, die im Genehmigungsverfahren eingereicht wurden, und andererseits um Unterlagen, deren Freigabe in der Kompetenz anderer Institutionen fällt. Es ist davon auszugehen, dass diese Unterlagen zu einem späteren Zeitpunkt veröffentlicht werden. Daher sind die Unterlagen im Literaturverzeichnis verblieben. Wo die Informationen auch jetzt schon ganz oder teilweise in veröffentlichten Unterlagen verfügbar sind, wurden die entsprechenden Zitate eingefügt.

RT: In einigen Fällen wird kein FuE-Bedarf ausgewiesen, obwohl ein solcher offenbar besteht und in anderen ISIBEL-Berichten auch benannt wird... Eine diesbezügliche Darstellung auch im FEP-Katalog wird empfohlen.

Die FEP-Beschreibungen wurden im Hinblick auf den FuE-Bedarf überprüft und, wo erforderlich, ergänzt.

RT: Im Hinblick auf die Beurteilung von FEPs, die Bereiche in Einlagerungsnähe betreffen, stellt sich angesichts der Tatsache, dass der Standort Gorleben untertägig nicht vollständig erkundet ist, die Frage, wie belastbar verallgemeinernde Aussagen zur Barrierenwirkung dieses Bereiches bzw. des Wirtsgesteins sind.

Für den Standort Gorleben liegt bereits eine umfassende geowissenschaftliche Datenbasis sowie ein weit entwickeltes geologisches Modell vor. Im Zuge der weiteren Exploration werden sich hier möglicherweise noch Ergänzungen und Änderungen ergeben. Entsprechend der Zielsetzung des Projektes ISIBEL die Methodik für den Langzeitsicherheitsnachweis weiterzuentwickeln, ist die für ein Genehmigungsverfahren relevante Frage der Belastbarkeit der Standortaussagen für das ISIBEL-Projekt nur von untergeordneter Bedeutung. Ungeachtet dessen sind die praktische Undurchströmbarkeit des Hauptsalzes, in dem die Anordnung der Einlagerungsbereiche vorgesehen ist, und damit seine Barrierewirkung durch eine Vielzahl von Untersuchungen belegt.

RT: In den Ausführungen in Teil A, Kap. 4 und zu NEA FEP 0.03 wäre eine präzisere Beschreibung des „betrachteten Gebietes“angebracht.

Es wird davon ausgegangen, dass das „betrachtete Gebiet“ im Genehmigungsverfahren präziser beschrieben wird. Im Projekt ISIBEL ist keine weitere Konkretisierung erforderlich.

RT: Das Review-Team schätzt ein, dass die Betrachtung eines Zeitrahmens von 1 Mio. Jahret prinzipiell angemessen ist, es sollte jedoch auch dargelegt werden, dass danach nicht mit abrupten Änderungen der Standortverhältnisse zu rechnen ist und dass solche Aspekte im Safety Case behandelt sind.

Die Länge des Nachweiszeitraums beträgt in Anlehnung an die Vorschläge für die neuen „Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder Abfälle“ 1 Mio. Jahre. Eine Ausweitung dieses Zeitrahmens auf mehrere Mio. Jahre wird entsprechend den kontinuierlich zunehmenden Prognoseunsicherheiten als nicht sinnvoll angesehen. Für langfristige geologische Prozesse (Diapirismus, Epirogenese etc.) wird in der geowissenschaftlichen Langzeitprognose darauf hingewiesen, dass sie auch in längeren Zeiträumen andauern und geprüft, ob sie zu abrupten Änderungen der Standortverhältnisse führen werden. Eine derartige Vorgehensweise wird als zweckmäßiger erachtet.

RT: Wie in der Präambel des FEP-Katalogs festgestellt wurde, ist die Biosphäre nicht Gegenstand des FEP-Katalogs. Diese Einschränkung wurde bei der Erstellung des Katalogs – aufgrund des Bezugs zum NEA-Katalog - nicht konsequent durchgehalten.

Da die Struktur des ISIBEL-FEP-Katalogs an die Struktur des NEA-FEP-Katalogs angelehnt wurde, waren in der 1. Version noch Biosphären-FEPs enthalten. Diese FEPs sind im Zuge der Überarbeitung des FEP -Katalogs entfallen.

RT: FEPs, die den Einlagerungsbetrieb betreffen, sollten nur in Bezug auf ihren Beitrag zur Langzeitsicherheit im Katalog berücksichtigt werden.

Der FEP-Katalog wurde entsprechend dieser Anregung überprüft und bereinigt.

RT: Zu den Ausführungen in Teil A, Kap. 5 ist anzumerken, dass stilisierte Szenarien nicht notwendig solche sind, bei denen Ereignisabläufe am zu betrachtenden Standort nicht detailliert berücksichtigt werden.

Die Definition wurde gemäß der Anmerkung geändert: „Durch Vorgaben, z.B. regulatorischer Art, festgelegte Entwicklung des Endlagersystems oder eines Teilsystems“

RT: Definitionen sollten möglichst einem einheitlichen Schema folgen, z.B. durch Berufung auf akzeptierte definitorische Quellen.

Der im FEP-Katalog verwendeten Definitionen entsprechen dem internationalen Standard für Begriffe aus dem Bereich des Sicherheitsnachweises. Sie wurden bei der Revision geprüft, ggf. überarbeitet und/oder mit einschlägigen Referenzen belegt.

RT: Die Definition des Begriffes „Barriere“ sollte dahingehend erweitert werden, dass auch bei der Behinderung des Flüssigkeitszutritts von Barrieren gesprochen wird.

Die Definition wurde gemäß der Anmerkung geändert.

RT: Zusammenhang mit der Definition der „Abstandsgeschwindigkeit“ sollte auch der Begriff Darcy-Geschwindigkeit erwähnt werden.

Der Begriff Abstandsgeschwindigkeit wurde in geeigneter Weise ersetzt.

RT: Transparenz und Nachvollziehbarkeit können nachhaltig nur durch klare Darstellung der Entstehung des Katalogs sowie die Begründung der im FEP-Katalog enthaltenen Bewertungen und ihre Konsequenzen für die angestrebte systematische Szenarienentwicklung. Diese Bedingung wird für manche FEPs, z.B. mit Bezug zu Halokinese und Subrosion, nicht erfüllt.

Die FEP-Beschreibungen wurden im Hinblick auf Transparenz und Nachvollziehbarkeit überprüft und bei Bedarf ergänzt.

RT: Es wird empfohlen, die Diskussion zur Ableitung der FEPs darzustellen sowie in den FEP-Beschreibungen eine konsequente Trennung von Sachverhaltsdarstellungen und Bewertungen durchzuführen und Begründungen der Bewertungen und die aus den FEP-Beschreibungen zu ziehenden Konsequenzen aufzunehmen.

In der Präambel wurde die Vorgehensweise bei der Ableitung der FEPs ausführlicher dargestellt. Eine nachträgliche Dokumentation der Expertendiskussionen, der Begründung subjektiver Entscheidungen, des Abgleichs von bottom-up bzw. top-down generierten FEPs etc. ist nicht möglich. Es wurde aber damit begonnen, in die FEP-Beschreibungen Begründungen für die bedingten Eintrittswahrscheinlichkeiten und für die Handhabung aufzunehmen. Dabei werden schwerpunktmäßig Begründungen für die Zuordnung zu FEP-Klassen „wenig wahrscheinlich“ oder „nicht zu betrachten“ angegeben, weil diese Zuordnung bei der späteren Szenarienentwicklung eine besonders wichtige Rolle spielt.

Die FEP-Beschreibungen wurden entsprechend der Trennung von Sachverhaltsdarstellungen und Bewertungen überprüft und bei Bedarf überarbeitet.

RT: Unsicherheiten hinsichtlich Erkenntnisstand bzw. Informationslage … werden teilweise durch Angaben zu Bandbreiten bzw. Größenordnungen …, nicht aber explizit als Unsicherheit ausgedrückt.

Ungewissheiten können aus Gründen der Praktikabilität nur kurz im FEP-Katalog angerissen werden. Wo Hinweise auf Ungewissheiten fehlten, wurden diese in den FEP-Beschreibungen ergänzt. Ungewissheiten spiegeln sich in der Regel auch im Punkt „Offene Fragen, Forschungsbedarf“ wieder. Wo zu einzelnen Sachverhalten abweichende Positionen anderer Institutionen bekannt sind, wird begründet, warum die Einschätzung des FEP-Katalogs gewählt wurde. Der Umgang mit Ungewissheiten wird in einem separaten Bericht behandelt.

RT: In der Szenarienentwicklung und Modellierung ist eine zeitabhängige FEP-Behandlung notwendig. Naturgemäß überschreitet dies die Möglichkeiten eines FEP-Katalogs…

Zeitabhängige Aspekte der FEPs werden in den Feldern „Standortspezifische Auswirkungen“ und „Zeitliche Beschränkung“ dargestellt. Für weitere Informationen wird dann auf die Literatur verwiesen. Wenn für einen FEP eine zeitliche Beschränkung gegeben ist, diese aber ohne weiteres nicht spezifizierbar ist, dann wurde unter „zeitliche Beschränkung“ „keine“ angegeben. Dies wird in der Präambel zum revidierten FEP-Katalog im Kap. 5 „Struktur der einzelnen FEP-Einträge“ [….] erläutert.

RT: Die Kapitel 5 „Terminologie“ und 7 „Glossar“ sollten zusammengefasst werden.

Die beiden Kapitel wurden im Zuge der Revision zusammengefasst.

RT: Eine Ergänzung der Titel der ISIBEL-Berichte um eindeutige Band und AP-Nummern hätte eine eindeutige Nomenklatur gewährleistet.

ISIBEL-Berichte werden weiterhin eine eindeutige Kennzeichnung erhalten.

2.2 Bezug des FEP-Katalogs zur NEA-FEP-Datenbasis

RT: Der starke Bezug auf die NEA-FEP-Datenbasis und ihre generischen IFEPs erweist sich als eher hinderlich. Die NEA-FEP-Datenbasis berücksichtigt nur ein einziges Endlagerprojekt in Salz (WIPP), das sich bzgl. Geologie und Inventar deutlich von den ISIBEL-Verhältnissen unterscheidet. Die Vollständigkeit des ISIBEL-Katalogs ist daher durch den Abgleich mit dem NEA-Katalog nicht hinreichend belegt.

Die Methodik zur Ableitung der FEPs wird in Kap 3 der Präambel des FEP-Katalogs dargestellt. Demnach werden die FEPs in wesentlichen durch 2 unterschiedliche methodische Ansätze („Bottom-up“ und „Top-Down“) identifiziert und die resultierenden FEP-Listen dann zusammengeführt. Eine Grundlage ist dabei der NEA-FEP-Katalog, wobei eine Vielzahl von FEPs nicht übertragbar sind, da sie auf andere Wirtsgesteine / Standorte zugeschnitten sind. Da Endlagerprojekte im Salinar im NEA-FEP-Katalog nur unzureichend berücksichtigt werden, wurden Hinweise auf FEPs, die für die norddeutschen Salzlagerstätten relevant sind, aus den Erfahrungen beim Betrieb von Salzbergwerken und Endlagern sowie aus den Ergebnissen der Standorterkundung Gorleben abgeleitet. Das ISIBEL-TEAM ist sich der Tatsache bewusst, dass die Vollständigkeit eines FEP-Katalogs nicht belegbar ist. Die gewählte Vorgehensweise des Abgleichs mit der NEA-Datenbank und mit den Erfahrungen aus den norddeutschen Salzlagerstätten sowie der FEP-Ableitung mit zwei unterschiedlichen methodischen Ansätzen, dient der Zielsetzung einen möglichst umfasseneden FEP-Katalog zu erstellen. Das Vorgehen wird in der Präambel zum reviedierten FEP-Katalog ausführlich dargestellt.

RT: Es besteht der Eindruck, dass die NEA-FEP-Datenbasis an einigen Stellen nur formal abgearbeitet wurden, da der Darstellungsgrad nicht über die Darstellung in zuvor behandelten FEPs hinausgeht. So passen einige FEPs nicht in den Bewertungszusammenhang des FEP-Katalogs.

Das NEA-FEP-Schema wurde ursprünglich, soweit es sinnvoll adaptierbar war, auf den ISIBEL-Katalog angewendet. Dies hat in einigen Fällen dazu geführt, dass die zusammenfassenden FEPs übernommen wurden, während die untersetzenden Projekt-FEPs nicht „passten“ oder aufgrund der abweichenden Katalogstruktur an anderer Position auftauchen. Der ISIBEL-Katalog wurde der Anregung des Review-Teams folgend formal und inhaltlich überprüft und überarbeitet. Im Teil C, der den Abgleich mit der NEA-FEP-Datenbank darstellt, wurden entsprechende Erläuterungen und Querverweise ergänzt.

RT: Der ISIBEL-FEP-Katalog stützt sich wesentlich auf eine generische Datenbasis. Der FEPCAT-Katalog für Ton kann in methodischer Hinsicht als Anregung und Orientierung für spätere Arbeitsschritte mit der ISIBEL-FEP-Datenbasis dienen.

Der ISIBEL-FEP-Katalog entspricht dem derzeitigen frühen Stand der Standorterkundung und Endlagerplanung. Die Umsetzung der Anregung des RT wäre bei einer späteren Weiterentwicklung des FEP-Katalogs – etwa im Rahmen eines standortspezifischen Safety Case – zu prüfen.

2.3 Struktur und Gliederung der Einträge

RT: Für die praktische Arbeit mit dem Katalog wäre eine allgemeine Einführung („Gebrauchsanweisung“) hilfreich.

Eine entsprechende Erweiterung der Einleitung des FEP-Katalogs im Rahmen eines F&E-Projektes wird als nicht erforderlich angesehen.

RT: Es ist zu prüfen, ob die Eintragfelder zu Abhängigkeiten, Wahrscheinlichkeiten und Einfluss auf Barrieren besser strukturierbar sind.

Die FEP-Maske sowie die Bezeichnung der Eintragfelder wurden verbessert.

RT: Die unterschiedliche Gestaltung von FEP-Kopf und Folgeseiten, die durchgehende Verwendung von Eintragsnummern sowie ein Beginn der FEP-Einträge einheitlich auf einer geraden Druckseite sollte geprüft werden, um die Orientierung im FEP-Katalog zu verbessern.

Die Gestaltung der FEP-Einträge wurde verbessert.

RT: Feld 9 „Bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit“: Es sollte erklärt werden, mit welcher Vorgehensweise bzw. Begründung die Zuordnung eines FEPs zu einer der unterschiedlichen Wahrscheinlichkeitsgruppen erfolgt.

Es wurde in der FEP-Maske ein zusätzlicher Menupunkt „Begründungen“ aufgenommen, in dem die Zuordnung erläutert wird. An dieser Stelle wird keine Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeiten bestimmter Ausprägungen von Eigenschaften oder Prozessen vorgenommen, da sich diese aus den standortspezifischen Verhältnissen ergibt, die an anderer Stelle behandelt werden. Das Vorgehen wurde in der Präambel ausführlicher erläutert.

RT: Feld 13 „Weitere Informationen und Beispiele“: Die Angaben sind z.T. irreführend, da einige aus nur entfernt verwandten Projekten (z.B. LAW-Endlagerung) entnommen sind und deswegen der Kontext nur schwer vergleichbar ist.

Die entsprechenden Angaben im FEP-Katalog wurden überprüft und ggf. ergänzt und erläutert oder durch andere Beispiele ersetzt.

RT: Da der FEP-Katalog nur direkte Abhängigkeiten berücksichtigt, sollte geprüft werden, ob in der elektronische Fassung auch eine Verfolgung der indirekten Abhängigkeiten dargestellt werden kann.

Aus Zeit- und Kapazitätsgründen war es im Zuge des Projektes nicht mehr möglich, in die Datenbank eine Funktion einzufügen, die eine Beziehungsmatrix der FEPs generiert.

RT: Feld 22 ff. „Handhabung“: Bei den Einträgen sollte die Formulierung „wird berücksichtigt“ durch „zu berücksichtigen“ ersetzt werden.
Der FEP Katalog geht nur auf negative Auswirkungen der FEPs auf die Sicherheit ein ... Es gibt jedoch Prozesse, die unter gewissen Umständen positive … und unter anderen Umständen negative Auswirkungen … haben. Dies hat dann Auswirkungen auf die Handhabung, die ggf. differenzierter dargestellt werden muss.

Die Formulierung wurden gemäß Vorschlag geändert.

Die unterschiedlichen Auswirkungen einzelner FEPs werden in den Feldern „Auswirkungen“ und „Zeitliche Beschränkungen“ dargestellt.

RT: Teil D (Beziehungsmatrix): Es sollte deutlich gemacht werden, dass in die Matrix nur die FEPs, die gemäß FEP-Beschreibung in mindestens einem der 4 Teilsysteme zu berücksichtigen sind, aufgenommen wurden

Die Beziehungsmatrix diente in der Version 1 des ISIBEL-FEP-Katalogs dazu, die Abhängigkeiten zwischen den FEPs darzustellen und zu prüfen. Diese Prüfung wird mit Einführung der FEP-Datenbank nunmehr automatisch durchgeführt. Die Beziehungsmatrix entfällt daher in der Version 2 des ISIBEL-FEP-Katalogs.

3 Änderungen der FEP-Einträge

Einige FEPs sind aufgrund einer Neubewertung ihrer Relevanz für den Langzeitsicherheitsnachweis entfallen. Falls zu diesen FEPs Anmerkungen des Review-Teams vorliegen, so werden nur Fragen beantwortet, die von allgemeiner Relevanz für das Systemverständnis sind.

1.1.01.01 Standorterkundung (ist entfallen)

RT: Es fehlt eine Erläuterung, wieso Auswirkungen von Erkundungsarbeiten nicht auch Barrieren beeinflussen können.
Ergänzend sollte die Verbesserung des Systemverständnisses als Ziel der Standorterkundung angesprochen werden.
Unter dem Punkt „Standortspezifische Auswirkungen“ sollten auch mögliche Auswirkungen mangelnden Systemverständnisses angesprochen werden.
Die zitierte Literatur sollte sich nicht auf Arbeiten aus dem eigenen Haus beschränken, sondern wichtige weitere Arbeiten berücksichtigen.

Die wichtigste Barriere „Hauptsalz“ wird nicht direkt, sondern nur durch indirekte Maßnahmen erkundet.
Das Systemverständnis wird bei der Standortauswahl mit seinem speziellen Wirtsgestein erarbeitet und durch die Erkundung verfeinert. Die Güte der Standorterkundung bestimmt dabei die Qualität der gewonnenen Geodaten.

IT: FEP ist entfallen.

Dieses FEP und damit die entsprechende FEP-Gruppe des NEA-FEP-Katalogs ist entfallen, da die FEPs, die aus der Standorterkundung resultieren und die Langzeitsicherheit des Endlagersystems beeinflussen können, im ISIBEL-Katalog an anderer Stelle behandelt werden, z.B.:
1.5.03.01 Wegsamkeiten in Erkundungsbohrungen
2.2.12.01 Unerkannte Merkmale
2.2.12.02 Fehlinterpretierte Erkundungsergebnisse

1.1.02.01 Auffahrung der Grube
1.1.02.02 Erkundungssohle
1.1.02.03 Grubengebäude

IT: Die FEPs der FEP-Gruppe „Auffahrung und Bau“ (1.1.02) sind entfallen.

Die FEPs der NEA-FEP-Gruppe 1.1.02 sind entfallen, da die FEPs, die aus der Auffahrung und dem Bau des Endlagers resultieren und die Langzeitsicherheit des Endlagersystems beeinflussen können, im ISIBEL-FEP-Katalog an anderer Stelle behandelt werden, z.B.:
2.1.07.01 Konvergenz
2.1.12.04 Gasspeichervolumen
2.2.01.01 Auflockerungszone
2.2.06.01 Spannungsänderung und Spannungsumlagerung

1.1.03.01 Einlagerungsgeometrie und –abfolge (ist entfallen)

RT: Das FEP ist ein Beispiel für die nicht immer zielführende Orientierung an den I-FEPs der NEA-FEP-Datenbasis. Es wird als „Randbedingung“ eingeordnet, die dem IFEP zugeordneten PFEPs zeigen jedoch, das die Intention des IFEPs beispielsweise auch die Behandlung von langzeitsicherheitsrelevanten Missgeschicken bei der Einlagerung ist; diese wiederum werden im ISIBEL-FEP-Katalog an anderer Stelle behandelt.

Die Auswirkungen der räumlichen Anordnung von Einlagerungsbereichen und der Abfolge der Abfalleinlagerung auf die Langzeitsicherheit des Endlagersystems werden in den FEPs 2.1.07.02 „Überlagerung der Nahfeldwirkungen einzelner Grubenbaue“, 2.1.11.02 „Thermische Expansion and Kontraktion“, 2.2.10.03 „Thermisch bedingte Spannungsänderung im Wirtsgestein“ und 2.2.10.04 „Temperaturänderung am Salzspiegel“ behandelt. Das FEP ist daher entfallen.

1.1.04.01 Verschließen der Einlagerungsbereiche (ist entfallen)

RT: Dieses FEP beschränkt sich im ISIBEL-FEP-Katalog lediglich auf die Betriebsphase. Es beschreibt das Erstellen einer Ausgangsbedingung für die Sicherheit in der Nachbetriebsphase und ist in diesem Sinne kein „process“. Das entsprechende IFEP der NEA-Datenbasis bezieht sich jedoch ... auf für die Langzeitsicherheit relevante Auswirkungen.

Mögliche Auswirkungen von Planungs- und Ausführungsfehlern beim Verschluss des Endlagers auf die Langzeitsicherheit des Endlagersystems werden in den FEPs 2.1.05.04 „Fehlerhaftes Erstellen eines Strecken- oder Schachtverschlusses“ und 2.1.07.08 „Lageverschiebung des Schachtverschlusses“ behandelt. Das FEP ist daher entfallen.

1.1.04.02 Verschließen der Schächte (ist entfallen)

RT: Sachverhalte und Sachlage am Referenzstandort erscheinen für ein derart wichtiges Sicherheitselement zu kurz behandelt. Die Angabe nur einer Literaturquelle erscheint deutlich zu wenig. Es kann nicht nachvollzogen werden, dass kein Forschungsbedarf besteht.

Der Schachtverschluss wird ausführlich im zitierten Bericht AP 5 beschrieben. Hier finden sich auch weitere Literaturzitate und Angaben zum Forschungsbedarf.

IT: FEP ist entfallen.

Mögliche Auswirkungen von Planungs- und Ausführungsfehlern beim Verschluss des Endlagers auf die Langzeitsicherheit des Endlagersystems werden in den FEPs 2.1.05.04 „Fehlerhaftes Erstellen eines Strecken- oder Schachtverschlusses“ und 2.1.07.08 „Lageverschiebung des Schachtverschlusses“ behandelt. Das FEP ist daher entfallen.

1.1.05.01 Kenntniserhalt (ist entfallen)

IT: FEP ist entfallen.

Ein wesentliches Element des betrachteten Endlagerkonzeptes ist die Nachsorgefreiheit. Eine Markierung des Endlagers muss so angelegt sein, dass sie keinen Einfluss auf das Endlagersystem hat. Der Kenntniserhalt wird im Rahmen der Szenarien zu zukünftigen menschlichen Handlungen behandelt, die nicht Gegenstand des ISIBEL-FEP-Kataloges sind. Das FEP ist daher entfallen.

1.1.06.01 Abfallzuordnung (ist entfallen)

RT: Es werden nur Abfälle aus den Wiederaufarbeitungsanlagen La Hague und Sellafield betrachtet. Gläser aus der VEK werden nicht erwähnt.

Die verglasten Abfälle aus der Verglasungseinrichtung der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (VEK) werden im Inventar berücksichtigt.

IT: FEP ist entfallen.

Das im Endlager einzulagernde Inventar wird in den FEPs 2.1.01.01 bis 2.1.01.04 behandelt. Das FEP ist daher entfallen.

1.1.07.01 Endlagerauslegung und Einlagerungskonzept (ist entfallen)

RT: Zur Rolle des FEP ergeben sich ähnliche Anmerkungen wie zu den FEPs 1.103.01 und 1.1.04.01.

Das im Bericht AP 1.2 beschriebene Endlagerkonzept zählt zu den Prämissen, die dem FEP-Katalog zugrunde liegen. Es muss daher nicht als FEP beschrieben werden. Die Auswirkungen eventueller Planungsungewissheiten werden im FEP-Katalog nicht berücksichtigt. Das FEP ist daher entfallen.

1.1.08.01 Qualitätssicherung (ist entfallen)

IT: FEP ist entfallen.

Die Folgen einer nicht fachgerecht durchgeführten Qualitätssicherung werden in den FEPs 2.1.05.03 „Fehlerhaftes Erstellen eines Strecken- oder Schachtverschlusses“ und 2.1.03.02 „Behälterausfall“ behandelt. Das FEP ist daher entfallen.

1.1.09.01 Betriebsablauf (ist entfallen)

IT: FEP ist entfallen.

Mögliche Auswirkungen unplanmäßiger Ereignisse während des Betriebes des Endlagers auf die Langzeitsicherheit des Endlagersystems werden in der FEP-Gruppe 1.1.12 Unfälle und ungeplante Ereignisse behandelt. Das FEP ist daher entfallen.

1.1.10.01 Behördliche Überwachung (ist entfallen)

IT: FEP ist entfallen.

Für die Zeiträume vor und nach Verschluss des Endlagers werden mögliche Beweissicherungsmaßnahmen so angelegt, dass sie keinen Einfluss auf das Endlagersystem haben. Das FEP kann daher entfallen.

1.1.11.01 Begleitendes Messprogramm (ist entfallen)

RT: Es sollte erläutert werden, was mit Überwachungsmaßnahme zur Beweissicherung von Einflussgrößen gemeint ist.

Gemeint ist: „Das Messprogramm umfasst die für den Langzeitsicherheitsnachweis relevanten Einflussgrößen…“

RT: Im Punkt „Sachlage“ sollte klar gemacht werden, warum Einflüsse auf das Wirtsgestein auszuschließen sind, obwohl das Programm noch unbekannt ist..

Das begleitende Messprogramm während des Betriebs des Endlagers wird so geplant, dass die Integrität des Wirtsgesteins und der Barrieren nicht beeinträchtigt wird. Daher hat das Messprogramm keine Bedeutung für die Langzeitsicherheit und das FEP ist entfallen.

1.1.11.02 Monitoring (ist entfallen)

RT: Die verwendete Formulierung beinhaltet eher eine implizite Anforderung, Maßnahmen mit gewissen (…) Auswirkungen zu unterlassen, als eine Beschreibung: denn solange Art und Umfang des Monitorings nicht bekannt sind, können auch etwaige Auswirkungen nicht ausgeschlossen werden.

Ein wesentliches Element des betrachteten Endlagerkonzeptes ist die Nachsorgefreiheit. Ein Monitoring nach Verschluss des Endlagers muss so angelegt sein, dass es keinen Einfluss auf das Endlagersystem hat. Das FEP kann daher entfallen.

1.1.12.01 Unplanmäßige Ereignisse in der Betriebsphase

IT: Begründung für Bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit und Einwirkung auf ewB.

Es wurden Begründungen für die Einstufungen des FEP bezüglich der „Bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit“, der „Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren“ und der „Handhabung“ eingefügt.

IT: Änderung der Einstufung bezüglich der Einwirkung auf die Funktion der einschlusswirksamen Barrieren.

Durch technische Vorsorgemaßnahmen ist sichergestellt, dass sich aus unplanmäßigen Ereignissen in der Betriebsphase keine langzeitsicherheitsrelevanten Auswirkungen auf die Barrieren ergeben. Die Einstufung der Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren wurde daher auf „nicht zutreffend“ geändert.

1.1.12.02 Kokillensticking und -absturz

IT: Begründung für Bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit und Einwirkung auf ewB.

Es wurden Begründungen für die Einstufungen des FEP bezüglich der „Bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit“, der „Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren“ und der „Handhabung“ eingefügt.

RT: In die FEP Beschreibung sollten Erläuterungen zur Vermeidung des Kokillenstickings und zu den Konsequenzen bei einem Auftreten des Kokillenstickings aufgenommen werden.

Die Beschreibung unter „Sachlage im betrachteten Endlagersystem“ wurde wie folgt ergänzt:
Die Einlagerung von Kokillen in Bohrlöcher wurde durch Demonstrationsversuche erprobt. Mögliche Ursachen für Kokillensticking (Unebene Bohrlochwände, Nachbruch, Konvergenz, Pendeln der Kokille im Bohrloch) werden durch eine entsprechende Auslegung der Einlagerungsbereiche und Maschinen sowie durch Vorsorgemaßnahmen (Bohrlochkontrolle, Konvergenzmessungen, ggf. Distanzhalter für Kokillen) weitestgehend vermieden. Sollte es trotzdem zum Sticking kommen, wird die Ursache analysiert und anschließend das Bohrloch abgeworfen.
Außerdem wurde der Abschnitt „Auswirkungen“ ergänzt: „…im Bohrloch verbleibt unterhalb der nicht planmäßig eingelagerten Kokille zunächst ein Hohlraum, der aber durch entsprechende technische Maßnahmen mit Salzgrus versetzt werden kann..“

IT: Handhabung geändert und Abhängigkeiten entfallen.

Auch bei Auftreten eines Kokillensticking / -absturz wird durch technische Maßnahmen sichergestellt, dass das Bohrloch in der vorgesehenen Weise verfüllt werden kann. Das FEP ist daher in allen 4 Teilsystemen nicht zu berücksichtigen. Daher sind auch die Abhängigkeiten entfallen.

1.1.13.01 Rückholbarkeit (ist entfallen)

IT: FEP ist entfallen.

Eine Rückholung der Abfälle ist im betrachteten Endlagerkonzept nicht vorgesehen. Das FEP ist daher entfallen.

1.2.01.01 Neotektonische Vorgänge

IT: Begründung für Bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit und Einwirkung auf ewB

Der Prozess läuft permanent ab und ist daher als „wahrscheinlich“ einzustufen. Die mit neotektonischen Vorgängen verbundenen Auswirkungen im Betrachtungszeitraum werden analog zu denen der letzten Million Jahre aber gering für Referenzstandort eingeschätzt, so dass das FEP für die Endlager-Teilsysteme nicht berücksichtigt wird.

RT: Unter „Weitere Informationen und Beispiele“ sollte klärend dargestellt werden, was genau mit neotektonischen Vorgängen gemeint ist und welcher Zeitraum als für neotektonische Vorgänge relevant angesehen wird.

Die FEP-Beschreibung wurde überarbeitet.
Das Verständnis für die neotektonischen Vorgänge ergibt sich aus der Definition. Neotektonische Vorgänge werden ab dem Ober-Miozän und damit ab ca. 10 Millionen Jahre als relevant angesehen.

RT: Wegen der ungünstigen Auswirkungen, die neotektonische Vorgänge haben könnten, sollte der scheinbare Widerspruch zwischen „wahrscheinlich“ (Bedingte Wahrscheinlichkeit) und „nicht zutreffend“ (Einwirkung auf die Funktion…) aufgelöst werden. Die Gründe, warum Effekte neotektonische Vorgänge nicht zu berücksichtigen sind, sollten klar herausgearbeitet werden. Sofern vorhanden, sollten in den Literaturverweisen Arbeiten angeführt werden, die sich auf das engere Standortgebiet beziehen.

Eine hochaktive und mobile Kruste lässt sich aus den in den letzten 10 Millionen Jahren abgelaufenen Vorgängen für die norddeutsche Tiefebene nicht ableiten. Da das großräumige Spannungsfeld im Bereich des nördlichen Mitteleuropas auf Grund der bestehenden plattentektonischen Situation sich nur langsam in geologischen Zeiträumen ändern wird, dürften sich die zukünftigen tektonisch bedingten Auswirkungen im ähnlichem Rahmen jener Veränderungen abspielen wie sie aus den letzten Millionen von Jahren nachzuweisen sind. Für den Referenzstandort wird daher unterstellt, dass die Fortsetzung neotektonischer Vorgänge als "wahrscheinlich" im Rahmen der bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit gegeben ist, aber keine wesentlichen Auswirkungen (Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren: „nicht zutreffend“) auf die unmittelbare Region des Referenzstandortes haben.
Literatur wird ergänzt.

1.2.01.02 Orogenese

IT: Begründung für Bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit und Einwirkung auf ewB.

Es wurden Begründungen für die Einstufungen des FEP bezüglich der „Bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit“, der „Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren“ und der „Handhabung“ eingefügt.

RT: Es sind die Gründe für die Unwahrscheinlichkeit einer Orogenese darzulegen. Im Punkt „Standortspezifische Auswirkungen“ sollte die geringe verbliebene Intensität der alpidischen Orogenese erläutert / betont werden.

In „Sachlage am Referenzstandort“ wird der 2. Satz ausgetauscht und mit „Dieses und die Lage des Referenzstandortes fernab von Plattengrenzen machen eine Orogenese im Bereich des zu betrachtenden Standortgebietes innerhalb der nächsten Million Jahre unwahrscheinlich.“ ersetzt.

RT: Ebenso sollte im Punkt „Zeitliche Beschränkungen“ stärker auf das Ausklingen der alpidischen Orogenese abgehoben werden. Sofern vorhanden, sollten Arbeiten zum Spannungszustand der Kruste im Bereich des standortnahen norddeutschen Tieflands und zu Beziehungen zum Alpen-Orogen angeführt werden.

In den Feldern „Zeitliche Beschränkungen“ und „Literatur“ wurden Ergänzungen eingefügt.

1.2.01.03 Senkung der Erdkruste

IT: Begründung für Bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit und Einwirkung auf ewB

Das Absinken der Erdkruste ist am Referenzstandort nur mäßig ausgeprägt, so dass sich daraus für die nächsten Million Jahre keine sicherheitsrelevanten Auswirkungen ergeben. Handhabung der Endlagerteilsysteme und die Nennung von Abhängigkeiten entfallen.

RT: Die „Definition / Kurzbeschreibung“ sollte eindeutig formuliert werden (Hier: Das Fehlen spannungsabbauender tektonischer Störungen des Gesteinsgefüges).

Korrektur der Definition: „….Abwärtsbewegung, bei der die Gesteinsabfolge nicht durch spannungsabbauende Tektonik gestört wird.“

RT: Der Beginn des Absenkungszeitraums sollte angegeben werden. In der zeitlichen Beurteilung ist der Unterschied zu 1.2.01.04 nicht einleuchtend. Soweit verfügbar, sollte auf Arbeiten zur engeren Standortregion verwiesen werden.

Einfügung in „Sachlage am Referenzstandort“: „… seit dem Oligozän (Rupel-Zeit), …“.

1.2.01.04 Hebung der Erdkruste

IT: Begründung für Bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit und Einwirkung auf ewB

Das FEP wird nicht berücksichtigt, da der Referenzstandort sich gegenwärtig absenkt. Eiszeitlich bedingte Hebungen (und auch Absenkungen) der Erdkruste vor dem Gletscherrand waren wegen der geringen Eismächtigkeiten von wenigen hundert Metern (z. B. ca. 500 - 700 m während der Elster-Kaltzeit; vgl. auch FEP Vollständige Inlandvereisung) unbedeutend und sind geologisch nicht nachweisbar. Handhabung der Endlagerteilsysteme und die Nennung von Abhängigkeiten entfallen.

RT: Es sollte klar gemacht werden, worauf (Bewegungstyp, Region, Zeitabschnitt bzw. Dauer) sich die Geschwindigkeitsangaben im Abschnitt „Sachlage“ beziehen und welcher Typ der epirogenetischen Bewegung (Hebung / Senkung) am Standort vorherrscht.

In „Sachlage“ ergänzt: „Seit der Rupel-Zeit (Oligozän)…“

RT: Der Unterschied zu 1.2.01.03 in der zeitlichen Beurteilung ist zu klären.

Zeitliche Beurteilung zu 1.2.01.03 angeglichen: „Gleichförmiger, lang andauernder Prozess in der Größenordnung von bis zu mehreren zehner Millionen Jahren.“

1.2.02.01 Lokale Differenzialbewegungen in Deck- und Nebengebirge

IT: Begründung für Bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit und Einwirkung auf ewB

Für die bedingte Eintrittwahrscheinlich wird „wahrscheinlich“ angegeben, da lokale Differenzialbewegungen aufgrund kaltzeitlicher und geologischer Prozesse möglich sind.
Sie sind aber in Bezug auf ihre Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren als "nicht zutreffend" einzuschätzen, da durch die kaltzeitliche Prozesse nur das Deck- und Nebengebirge von den Auswirkungen betroffen und daraus keine Einwirkungen auf die einschlusswirksamen Barrieren abzuleiten sind. Bei der Handhabung der Teilsysteme ist nur das Deck- und Nebengebirge zu berücksichtigen.

RT: Sofern Eistektonik in Frage kommt, sollte sie im Punkt „Weitere Beispiele“ erwähnt werden. Gegebenenfalls sind weitere Vorgänge zu erwähnen.

Änderung des Titels in **„Lokale Differenzialbewegungen“.**

Ergänzung in „Weitere Informationen“: „Eistektonische Prozesse während einer Kaltzeit können ebenfalls zu lokalen Differentialbewegungen führen (vgl. FEP Vollständige Inlandvereisung).“

RT: Es sollte klar gestellt werden, dass diagenetisch bedingte Bewegungen zwar vorkommen, aber nicht im sicherheitsrelevanten Ausmaß.

„Sachlage“, 4. Satz umformuliert: „Differenzialbewegungen in einem sicherheitsrelevanten Ausmaß aufgrund ……..“.
Schlusssatz ergänzt: „Diese wärmebedingten Differentialbewegungen werden im FEP Wärmebedingte Hebung oder Senkung des Deckgebirges behandelt.“

RT: Die Entstehung von Wegsamkeiten sollte behandelt werden.

Abschnitt „Standortspezifische Auswirkungen“ umformuliert: „Die Auswirkungen (z. B. Bildung von Wegsamkeiten) von Differenzialbewegungen …beeinflussen, indem eistektonisch bedingte Aufschuppungen weichselzeitliche Sedimente mit neuen kaltzeitlichen Ablagerungen verbinden. Die durch die Wärmeproduktion bedingte Ausdehnung des Salzkörpers wird zu einer Hebung des Deckgebirges in seiner Gesamtheit von wenigen Metern nach sich ziehen. Es ist nicht zu erwarten, dass es dabei zur Bildung von lokalen, hydraulisch relevanten Differenzialbewegungen kommt.“

RT: Der Hintergrund der scharfen zeitlichen Abgrenzung der Prozesse sollte erläutert werden.

„Zeitliche Beschränkung“: FEP-Verweise wurden eingefügt.

RT: Einige der FEPs sind eher auslösend als beeinflussend (z. B. Diapirismus).

FEP-Abhängigkeiten wurden überarbeitet.

1.2.02.02 Krustendeformation

IT: Begründung für Bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit und Einwirkung auf ewB

Kaltzeitlich bedingte Krustendeformationen sind wahrscheinlich, aber am Referenzstandort wegen der geringen Gletschermächtigkeiten im Vergleich zu Skandinavien nur gering ausgeprägt und geologisch nicht nachweisbar. Die Einwirkungen auf die ewB werden daher als nicht zutreffend eingestuft. Handhabung der Endlagerteilsysteme und die Nennung von Abhängigkeiten entfallen.

RT: Im Punkt „Sachlage“ sollten die isostatischen Bewegungen klar von etwaigen anderen Bewegungstypen abgegrenzt werden. Angesichts der Tatsache, dass am Standort mit isostatischen Krustenbewegungen zu rechnen ist, sollte deren sicherheitsmäßige Bedeutung klarer dargestellt werden. Die Nichtberücksichtigung des FEP bedarf der Begründung (s. auch „Standortspezifische Auswirkungen“). Die Aussage zur zeitlichen Beschränkung (Isostasie versus Tektonik) gilt nur, wenn man störungsartige tektonische Vorgänge ausklammert.

Das FEP wurde den Anregungen entsprechend ausführlich überarbeitet und ursprünglich fehlende Angaben zu Abhängigkeiten ergänzt.

1.2.02.03 Grabenbildung (Taphrogenese)

IT: Begründung für Bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit und Einwirkung auf ewB

Aus der geologischen Gesamtsituation ergibt sich am Referenzstandort keine verstärkte Tektonik, die zu einer Grabenbildung im Betrachtungszeitraum führen könnte. Deshalb wird das FEP nicht weiter betrachtet. Die Einwirkungen auf die ewB werden daher als nicht zutreffend eingestuft. Handhabung der Endlagerteilsysteme und die Nennung von Abhängigkeiten entfallen.

RT: Die Ausführungen zur zeitlichen Beschränkung sind missverständlich, da die Grabenentstehung zwar lange andauert, aber mit Bewegungen erheblich geringerer Dauer verbunden ist.

Änderung im Feld Zeitliche Beschränkung: „Keine Angaben. Eine Grabenbildung findet im Betrachtungszeitraum am Referenzstandort nicht statt."

1.2.03.01 Erdbeben

IT: Begründung für Bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit und Einwirkung auf ewB

Erdbeben sind für den langen Betrachtungszeitraum von einer Million Jahre auch am Referenzstandort oder in seiner Umgebung wahrscheinlich. Aus der geologischen Gesamtsituation ergeben sich am Referenzstandort jedoch keine Hinweise auf ein zu erwartendes verstärktes Erdbebenaufkommen, das Auswirkungen auf ein verschlossenes und verfülltes Endlager haben könnte. Auswirkungen eines starken Erdbebens auf einen innerhalb der Erdkruste befindlichen Salzstock sind unbekannt bzw. wurden anhand von geologischen Merkmalen nicht nachgewiesen. Deshalb wird das FEP nicht weiter betrachtet. Die Einwirkungen auf die ewB werden daher als nicht zutreffend eingestuft. Handhabung der Endlagerteilsysteme und die Nennung von Abhängigkeiten entfallen.

RT: Die Zeitangabe „mittelfristig" ist unbestimmt.

In Abschnitt „Zeitliche Beschränkung" wurde der letzte Satz gestrichen.

IT: Zwischen der Aussage „keine Beeinflussung der Grundwasserhydraulik" unter dem Punkt „Bemerkungen" und der Aussage unter „Standortspezifische Auswirkungen", dass in tonigen Schichten Wegsamkeiten entstehen können, besteht ein partieller Widerspruch.

In „Standortspezische Auswirkungen" wurde der letzte Satz ersetzt: „….Rissausbreitungen aufgrund von Erdbeben über mehrere……. hinein wurden noch nicht beobachtet."
In „Bemerkungen" wurde der 2. Satz geändert: „Wegen der vorhandenen mächtigen Porenwasseraquifere mit ihren hohen Durchlässigkeiten sind die Veränderungen jedoch derart, dass sie die bestehende Grundwasserhydraulik nur minimal beeinflussen."

1.2.04.01 Magmatismus

IT: Begründung für Bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit und Einwirkung auf ewB

Aufgrund der geologischen Gesamtsituation ist am Referenzstandort kein Magmatismus im Betrachtungszeitraum zu erwarten. Das FEP ist daher nicht zu betrachten. Die Einwirkungen auf die ewB werden daher als nicht zutreffend eingestuft. Handhabung der Endlagerteilsysteme und die Nennung von Abhängigkeiten entfallen.

RT: Hinsichtlich der Begründung der Wahl des Referenzstandortes ist die Aussage „…so gewählt, dass…“ im Punkt „Bemerkungen“ irreführend.

Zeitliche Beschränkung: Text in das Feld „Weitere Informationen“ verschoben. Neuer Text: „Keine Angaben. Ein Magmatismus wird am Standort nicht erwartet.“

1.2.05.01 Gesteinsmetamorphose

IT: Begründung für Bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit und Einwirkung auf ewB

Das FEP wird aufgrund fehlender natürlicher Auslöser nicht berücksichtigt. Es findet weder eine rasche Tiefenversenkung der Gesteinseinheiten statt, noch sind Magmen am Referenzstandort zu erwarten. Temperaturerhöhungen durch den radioaktiven Zerfall kurzlebiger Radionuklide werden durch eine entsprechende Endlagerauslegung zur Vermeidung möglicher Metamorphoseeffekte berücksichtigt. Die Einwirkungen auf die ewB werden daher als nicht zutreffend eingestuft. Handhabung der Endlagerteilsysteme und die Nennung von Abhängigkeiten entfallen.

RT: Abgrenzung der Diagenese zur Metamorphose ist eindeutig darzustellen.

Neue Definition: „Gesteinsmetamorphose bedingt eine Veränderung von Gefüge und Mineralbestand eines bereits vorhandenen Festgesteins durch Druck und Temperatur. Oberflächennahe diagenetische Prozesse oder die der Verwitterung fallen nicht unter den Begriff Gesteinsmetamorphose.“

RT: Eine eindeutige Formulierung unter den Punkten „Sachlage“ und „Standortspezifische Auswirkungen“ ist anzustreben, denn schwache Regionalmetamorphose ist für tiefere Krustenbereiche nicht auszuschließen. Die Formulierung zum Punkt „Zeitliche Beschränkung” ist missverständlich.

Sachlage, 1. Satz, ergänzt: „…..keine Regionalmetamorphose in den Bereichen oberhalb der Zechsteinsalze statt.“ Weiterhin als letzten Satz ergänzt: „Eine Metamorphose der Salzgesteine durch eine zeitweilige Temperaturerhöhung innerhalb der ersten hundert Jahre nach Verschluss wird durch eine entsprechende Endlagerplanung und Zwischenlagerzeiten vermieden.“
Abschnitt „Zeitliche Beschränkung“ geändert: „Eine Metamorphose von Gesteinen findet erst bei entsprechenden Drücken und Temperaturen nach Absenkung der Gesteinsschichten in größere Tiefen statt (z. B. Epirogenese). Die für die Absenkung benötigte Zeit überschreitet den Nachweiszeitraum.“

1.2.07.01 Erosion

IT: Begründung für Bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit und Einwirkung auf ewB

Der Prozess ist insbesondere im Rahmen der Bildung kaltzeitlicher Rinnen wahrscheinlich und damit direkt auf die ewB Wirtsgestein und Schachtverschlüsse einwirkend. Er ist für alle Endlagerteilsysteme mit Ausnahme des Nahfelds "zu berücksichtigen“.

RT: Es bleibt unklar, welcher Definition genau die Autoren folgen.

Die Formulierung wurde durch folgenden Zusatz verdeutlicht: „…..zur flächenhaften Abtragung….“

RT: Die Aussage „minimal“ in Bezug auf die Reduzierung des Deckgebirges bedarf der Erläuterung.

Der erste Satz des Abschnitts „Standortspezifische Auswirkungen“ wurde neu formuliert: „Die Reduzierung des Deckgebirges am Referenzstandort wird wegen des geringen Reliefs allenfalls wenige zehner Meter betragen, was nicht sicherheitsrelevant ist.“

IT: Sachlage, nach dem 3. Satz Textblock ergänzt

„In diesem Zusammenhang wird hier die enorme Erosion (vgl. FEP Vollständige Inlandvereisung) durch die Bildung kaltzeitlicher Rinnensysteme nicht als linien- sondern als flächenhaft gesehen, da sich die durch Rinnen erodierten Bereiche über mehrere Kilometer Breite und zehner Kilometer Länge erstrecken. Entsprechend starke Auswirkungen durch das FEP sind im Rahmen einer Szenarienbetrachtung zeitlich durch ihre Bindung an Kaltzeiten mit einer vollständigen Inlandeisüberdeckung zu berücksichtigen.“

IT: Zeitliche Beschränkungen, Satz eingefügt

„Eine flächenhafte Erosion findet ständig statt. Wegen des geringen Reliefs ist sie aber im Betrachtungszeitraum nur wenig ausgeprägt. Eine Abweichung hiervon stellen die an der Oberfläche ablaufenden flächenhaften Erosionsvorgänge dar, die während zu erwartender Kaltzeiten zeitlich begrenzt extreme Auswirkungen haben können.“

1.2.07.02 Sedimentation

IT: Begründung für Bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit und Einwirkung auf ewB

Der Prozess ist insbesondere im Rahmen von Kaltzeiten wahrscheinlich, wenn durch die Gletschertätigkeit oder durch eiszeitlich bedingte Prozesse weitere Sedimente über dem Referenzstandort abgelagert werden und damit indirekt auf die ewB einwirken können. Ansonsten findet wegen der geringen Senkungstendenz am Referenzstandort nur eine geringe Sedimentation statt. Die indirekte Beeinflussung der ewB wird über das FEP Spannungsänderung u. -umlagerung abgehandelt.

RT: Die Definition ist ungenau bzw. unscharf formuliert. (Richtig ist: Sedimentation ist der Absatz von Feststoffpartikeln in einem Fluid (Flüssigkeit, Gas) unter Wirkung einer Kraft (in der Natur in der Regel Schwerkraft)).

Definition, 1. Satz, ersetzt: „Sedimentation ist der Absatz von Feststoffpartikeln in einem Fluid unter der Wirkung einer Kraft."

RT: Die Absenkungsgeschwindigkeit der Erdoberfläche und das Klima steuern entgegen der Definition nicht die Sedimentation, sondern die Mächtigkeit der entstehenden Sedimente bzw. deren Art.

Der erste Satz des Abschnitts „Sachlage" wurde geändert: „Die z. Zt. ablaufende Sedimentakkumulation ist….."

Im Abschnitt „Weitere Informationen" wurde der erste Satz umformuliert: „Verstärkte Absenkungstendenzen des Untergrundes in der nahen geologischen Vergangenheit (z. B. Nordseebecken, Niederrheinische Bucht) verursachten große Sedimentmächtigkeiten."

1.2.08.01 Diagenese

IT: Begründung für Bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit und Einwirkung auf ewB

Diagenese findet in den Schichten des Deck- und Nebengebirges frühzeitig in Folge chemischer Prozesse statt und ist damit als "wahrscheinlich" einzustufen. Es sind aber damit keine Einwirkungen auf die ewB verbunden.

IT: Handhabung ergänzt

Wird für das Teilsystem Deck- und Nebengebirge berücksichtigt

RT: Die Definition sollte etwa folgendermaßen sprachlich überarbeitet werden: Umbildung von Lockersedimenten zu festen Sedimentgesteinen durch den Druck überlagernder Gesteine, Temperatur und chemische Prozesse. Übergang zur Metamorphose bei etwa 220 °C (Beginn Zeolithfazies).

Definition: Überarbeitung gemäß Vorschlag.

RT: Im Punkt „Weitere Informationen" ist die Darstellung der Diageneseabläufe für die unterschiedenen Gesteinstypen hinsichtlich des Detaillierungsgrades heterogen, es sollten Einheitlichkeit und ähnlicher Aufbau der Darstellung angestrebt werden.
Hinsichtlich Deck- und Nebengebirgsschichten wird im Punkt „Sachlage" vornehmlich auf Kompaktion abgehoben. Die entsprechenden Aussagen stehen in partiellem Widerspruch zu der Aussage unter „Weitere Informationen und Beispiele", wonach die Kompaktion bei etwa 2000 m Versenkungstiefe abgeschlossen sei.
Den detaillierten Angaben zur Stylolithenbildung und daraus errechneten Lösungsbeträgen fehlt der Bezug zum betroffenen Substrat und zur Langzeitsicherheit.

Der übrige Text wurde an vielen Stellen gekürzt und überarbeitet, um Missverständnissen vorzubeugen.

1.2.09.01 Diapirismus

IT: Begründung für Bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit und Einwirkung auf ewB

Der Salzstock am Referenzstandort befindet sich im Endstadium seiner Entwicklung. Ein Diapirismus ist wahrscheinlich, da die vorhandenen restlichen Salze im tieferen Untergrund aufgrund der Dichteunterschiede und dem bestehenden regionalen Spannungsfeld geringe Aufstiegsraten ermöglichen. Aufgrund der Salzbewegungen sind strukturelle Veränderungen im Bereich aller Endlagerteilsysteme denkbar, so dass mögliche Auswirkungen berücksichtigt werden müssen.

RT: Die Definition ist sprachlich und mit Bezug zu Steinsalz zu überarbeiten.

Definition, neu: „Unter Diapirismus wird das Aufdringen von Salzgestein aus tiefen Bereichen der Erdkruste verstanden. Maßgeblich für das Aufdringen sind ein ausreichender Überlagerungsdruck durch dichtere jüngere Gesteine und das Vorhandensein von Schwächezonen im Gebirge.“

RT: Im Punkt „Sachlage“ sollte erläutert werden, welche kurzzeitigen bzw. lokalen Geschwindigkeitsabweichungen von den angegebenen Mittelwerten möglich sind und wie die Ausführungen zu den Angaben Duphorns über quartären Diapirismus passen.

Die Diskussion über abweichende Meinungen zu standortspezifischen Gegebenheiten muss im Rahmen der Standortbeschreibung geführt werden und wird nicht als Teil einer FEP-Beschreibung gesehen. Ergänzend werden Literaturstellen aufgeführt, um auf weitere Informationen hinzuweisen.

Die Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren wurde geändert in „direkter Einfluss“, da durch den Aufstieg das Wirtsgestein direkt betroffen ist

Der Abschnitt „Sachlage“ wurde wie folgt umformuliert: “Eine Verstärkung der Aufstiegsraten innerhalb der nächsten Million Jahre würden hohe kompressive Spannungen und eine sehr starke Subsidenz des Gebietes mit einer Neubildung von Sedimenten voraussetzen, die …“

RT: Im Punkt „Standortspezifische Auswirkungen“ sollten die Voraussetzungen für die Aussage erläutert werden, dass die mobileren Salzgesteine im Zentrum des Salzstockes um einen größeren Betrag angehoben werden und im Nachweiszeitraum insgesamt 70 m höher gelegt werden können. Es dürfte sich dabei nicht um einfache Anhebung und Höherlegung, sondern um ein - im Vergleich zu benachbarten Gesteinen - relatives „Aufströmen“ handeln. Sofern möglich, sollten das vermutete „Geschwindigkeitsprofil“ dieser Bewegungen über den Salzstock in Endlagertiefe (und andernorts) und die daraus für Wirtsgestein, Nahfeld bzw. Strecken und Schächte verbundenen Konsequenzen dargestellt werden.

Die Aussagen zur Aufstiegsgeschwindigkeit wurden überarbeitet: „Im Zentrum des Salzstockes sind die Hauptsalze mobiler als die übrigen sie umgebenden Salzgesteine. Aufgrund der Randsenkenanalyse und systemischer Überlegungen können sie den jüngeren Salzgesteinen um einen höheren Aufstiegsbetrag vorauseilen, der für den Nachweiszeitraum insgesamt mit ca. 70 m abgeschätzt wird. Inwieweit sich dieser und der Aufstieg der übrigen Salze in einer Hebung und Erosion des Deckgebirges manifestiert, hängt von den sich ändernden hydrogeologischen Verhältnissen und dem damit verbundenen Subrosionsgeschehen ab

(vgl. FEP Vollständige Inlandvereisung und FEP Permafrost). Die Wirkungen von Aufstieg und Subrosion bei gleichen Raten würden sich gegenseitig kompensieren und an der heutigen Situation nichts ändern. Da erwartet wird, dass im langfristigen Mittel die Subrosionsraten aber geringer sind, dürfte sich eine geringe Beeinflussung des Deckgebirges durch den Aufstieg als wahrscheinlich erweisen. Diese Beeinflussung wird allerdings durch die im Nachweiszeitraum zu erwartenden extrem wirksamen kaltzeitlichen Prozesse (z. B. Rinnenbildung, Exaration, Eistektonik) bis zur Bedeutungslosigkeit überdeckt.
Durch den Aufstieg des Hauptsalzes werden die Abfälle ebenfalls mit angehoben. Es wird erwartet, dass sich aufgrund des geringen Hebungsbetrages an der Gesamtkonstellation des Endlagers wenig ändert und die strukturelle Situation des inneren Salzstockbereiches mit der heutigen vergleichbar sein wird.“

Im Abschnitt „Zeitliche Beschränkungen“ wurde der letzte Satz neu eingefügt: „Das Zuströmen von Restsalzen aus den Randsenken wird zudem durch den Engpass am Salzstockfuß und den dort verbliebenen Anhydritblöcken erschwert bzw. unterbunden.“

1.2.09.02 Subrosion

IT: Begründung für Bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit und Einwirkung auf ewB

Eine Subrosion ist aufgrund der geologisch / hydrogeologischen Situation am Referenzstandort im Betrachtungszeitraum wahrscheinlich. Sie wirkt im geologischen Zeitrahmen in unterschiedlichem Ausmaß und in Abhängigkeit von der klimatischen Entwicklung direkt auf die ewB Wirtsgestein ein. Die geplante Auslegung der Schachtverschlüsse berücksichtigt für die Zeit ihrer Funktionsdauer die zu erwartende Subrosion am Salzspiegel, so dass Einwirkungen auf die ewB Schachtverschluss und das Teilsystem Strecken und Schächte nicht berücksichtigt werden müssen.

RT: Art und Ausmaß der quartärzeitlichen Subrosion waren am Referenzstandort sehr komplex bzw. zeitlich heterogen. Im Punkt „Sachlage” sollte dargestellt werden, welche kaltzeitlichen Prozesse die Subrosion maßgeblich wie beeinflusst (verstärkt) haben, unter welchem FEP sie behandelt werden und wie die entsprechende Befunde zu den übrigen Angaben dieses Abschnitts passen. Es ist zu begründen, warum die Darstellung der quartären Subrosion zeitlich unvollständig ist und warum spezielle Subrosionsphänomene, wie selektiv vorauseilende Subrosion, nicht behandelt werden. Es sollte darauf hingewiesen werden, unter welchen FEPs solche Darstellungen sonst zu finden sind.

Im Abschnitt „Weitere Informationen“ wurde im 2. Satz ergänzt: „….klein bleiben, bzw. kann aus gesättigten Lösungen Steinsalz ausfällen.“ Weiterhin wurde hinter (KELLER 1990) der folgende Satz eingefügt: „Die von unterschiedlichen Autoren angewandten Methoden zur Bestimmung der Subrosionsraten werden von BORNEMANN et al. (2008) und KÖTHE et al. (2007) diskutiert.“

Im Abschnitt „Sachlage“ wurde der 1. Satz geändert: „Das Subrosionsgeschehen am Referenzstandort ist in der Vergangenheit durch eine generelle Hochlage des Salzspiegels z. B. in der Präelster-Zeit, durch die im Salzspiegel angelegte Rinne und durch kaltzeitliche Prozesse (Permafrost, Inlandvereisung) im hohen ….“
Der 2. Absatz wurde ab dem 2. Satz überarbeitet: „Wenn man von einer subrosiven Absenkung der Hutgesteinsoberfläche um durchschnittlich 57 m im Zeitraum vom Cromer- bis Me-

nap-Komplex ausgeht und für diesen Zeitraum ca. 800 000 Jahre Dauer ansetzt, ergeben sich daraus Subrosionsraten von ca. 0,07 mm/Jahr. Dagegen belegen die Ausbildung der Hutgesteinsbrekzie, die Ablagerungen des geschichteten Gips- und Anhydritgesteins (BORNEMANN, BEHLAU et al. 2004) sowie die Lage der Holsteinbasis über dem Salzstock eine lokale Subrosion im Zeitraum von der Anlage der quartären Rinnen bis Postholstein mit durchschnittlichen Ablaugungsraten von 0,2 mm/Jahr bis 0,3 mm/Jahr. Ähnliche Raten (0,2 bis 0,4 mm/Jahr) geben KÖTHE et al. (2007) für die Saale-Kaltzeit an."

Nach letzten Abs. ergänzt: „Neben der flächig ablaufenden Subrosion ist punktuell eine selektive Subrosion besonders leicht löslicher Salze am Salzspiegel möglich. Durch die Bildung der kaltzeitlichen Rinne wurde der Prozess an den überkippt ausstreichenden Kaliflözen intensiviert, sodass es bis in eine Tiefe von ca. 100 m zu Lösungs- und Umwandlungsprozessen kam. Diese selektiv stärker gelösten Bereiche wurden durch Steinsalzauskristallisationen wieder verschlossen. Heute liegt ein relativ ebener Salzspiegel vor, was keine Hinweise auf eine verstärkt ablaufende selektive Subrosion zulässt."

RT: Es sollte auch auf die Aussagen anderer Autoren, die sich mit Subrosion am Referenzstandort beschäftigt haben und zu anderen als im FEP dargestellten Ergebnissen kommen, eingegangen werden. Die verschiedenen Verfahren zur Berechnung von Subrosionsraten und die Ergebnisse sollten gegenüber gestellt und diskutiert bzw. referiert werden.

Die Diskussion über abweichende Meinungen zu standortspezifischen Gegebenheiten muss im Rahmen der Standortbeschreibung geführt werden und wird nicht als Teil einer FEP-Beschreibung gesehen. In KÖTHE, A., HOFFMANN, N. et al. (2007: 162ff.) und BORNEMANN, O., BEHLAU, J. et al. (2008: 66ff.) werden die Referenzen zu anderen Autoren genannt und die darin enthaltenen Aussagen detailliert diskutiert. Es werden deshalb nur ergänzend entsprechende Literaturstellen in der revidierten FEP-Beschreibung aufgeführt.

RT: Im Punkt „Standortspezifische Auswirkungen" fehlen Angaben zu den höchsten Subrosionsraten und zu den Bedingungen, unter denen sie zustande kommen. Die Auswirkungen besonderer Subrosionsphänomene bzw. -bedingungen (selektive Subrosion) sollten wertend erläutert werden. Bei der Zusammenstellung der Abhängigkeiten sind besondere Subrosionsphänomene, -bedingungen und -phasen offensichtlich nicht berücksichtigt worden. Die teilweise deutlichen Unterschiede zwischen den Angaben verschiedener Autoren zur Geschwindigkeit von Subrosion bedürfen der Klärung. Dasselbe gilt wahrscheinlich für Ablauf und Auswirkungen besonderer Subrosionsphänomene bzw. -intensität.

Standortspezische Auswirkungen, 2. Absatz geändert: „….nicht weggelöst werden kann. Höchste Subrosionsraten von 0,2 bis 0,3 mm/Jahr sind zudem nur kurzfristig für bestimmte Kaltzeiten zu erwarten, wenn es u. a. zur Bildung tiefer Rinnen kommt, die den Salzspiegel erreichen. Die Zeitdauer einer Kaltzeit wird analog zu der der Elster-Kaltzeit mit ca. 100 000 Jahre abgeschätzt, so dass dadurch eine Ablaugung von 20 bis 30 m möglich wird. Für die Saale-Kaltzeit wurden 0,2 bis 0,4 mm/Jahr bestimmt, was 20 bis 40 m Ablaugung bedeuten würde.""

1.2.10.1 Einfluss geologischer Veränderungen auf die Hydrogeologie

IT: Begründung für Bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit und Einwirkung auf ewB

Der Einfluss geologischer Veränderungen auf die Hydrogeologie ist insbesondere während zu erwartender Kaltzeiten wahrscheinlich. Das FEP beschreibt aber nur den direkten Einfluss auf die Hydrogeologie und nicht einen darüber hinausgehenden direkten oder indirekten Einfluss auf die ewB. Dieser ergibt sich nur über die Abhängigkeiten von FEPs (hier z. B. FEP Subrosion) tieferer Ebenen (vgl. Methodik zur Entwicklung eines Referenzszenarios), so dass für die Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren (ewB) "nicht zutreffend" gewählt wird. Das FEP wird für das Endlagerteilsystem Deck- und Nebengebirge berücksichtigt.

RT: Es sollte klar gestellt werden, welche Art von geologischen Veränderungen hier betrachtet wird. Im Punkt „Weitere Beispiele“ sollte auf Vollständigkeit geachtet werden (klimatisch bedingte Prozesse, wie etwa glazialtektonische Verschuppung). Die Unterscheidung zwischen langsamen und schnellen Prozessen entspricht nicht der zwischen geologisch und klimatisch und sollte entsprechend klar gestellt werden.

Definition überarbeitet: „Geologische oder klimatisch bedingte Prozesse sind für die Änderung der hydrogeologischen Verhältnisse verantwortlich, in dem sie die morphologische und strukturelle Entwicklung des Gebietes, die Wasserdurchlässigkeit der Gesteine, die Diagenese, die geochemischen Verhältnisse und das Erosions- und Sedimentationsgeschehen beeinflussen.“

Text „Sachlage“ verändert: „…… Jahren mit sich bringt. Veränderungen ergeben sich auch durch klimatische bedingte Prozesse im Rahmen weiterer zukünftiger….“.

RT: Unter dem Punkt „Standortspezifische Auswirkungen“ sollte nicht nur auf langsam ablaufende Prozesse abgehoben werden; denn unter „Sachlage am Referenzstandort“ und „Zeitliche Beschränkung“ wird (auch) auf klimatisch induzierte schnelle Prozesse eingegangen. Im Punkt „Abhängigkeiten“ sind gegebenenfalls auch klimatisch induzierte Prozesse zu behandeln.

Im Abschnitt „Standortspezifische Auswirkungen“ wurde am Schluss der folgende Text eingefügt: „Unter kaltzeitlichen Bedingungen (Permafrost) kann die Durchlässigkeit reduziert oder erhöht werden. Die erneute Bildung glazigener Tiefrinnen bedeutet eine vollständige Umgestaltung des Deck- und Nebengebirges und darauf aufbauend das Entstehen einer völlig andersartigen Hydrogeologie am Referenzstandort. Glazitektonische Vorgänge können ebenfalls eine Änderung der hydrogeologischen Verhältnisse verursachen, indem z. B. durchlässige an undurchlässige Schichten gestaucht werden.“

Im Abschnitt „Zeitliche Beschränkung“ wurde der 2. Satz geändert: „…… Zeitabschnittes wird in einem Umfang von ca. 100 000 Jahre geschätzt (z. ……“.

1.3 Allgemeine Anmerkungen zu den Klima-FEPs

RT: Bei den klimatischen FEPs gibt es - unter Berufung auf verschiedene Autoren - unterschiedliche Aussagen zu den zeitlichen Abläufen künftiger Kaltzeiten. Hier ist eine nachvollziehbare Vereinheitlichung sinnvoll. Für die weitere Bearbeitung wäre auch von Vorteil, wenn es eine Aufstellung mit klarer Zuordnung der behandelten klimabezogenen Prozesse zu den einzelnen FEPs gäbe.

Die zeitlichen Abläufe in den Klima-FEPs wurden überprüft und angepasst. Die Zuordnungen ergeben sich aus den jeweiligen FEP-Beschreibungen.

1.3.01.01 Globale klimatische Veränderungen

IT: Begründung für Bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit und Einwirkung auf ewB

Globale klimatische Änderungen sind im Betrachtungszeitraum wahrscheinlich. Eine Wirkung auf die einschlusswirksamen Barrieren ergibt sich nur indirekt über die in den Abhängigkeiten genannten FEPs.

RT: Die Angabe zum Maximum des nächsten Glazials (154.000 Jahre nach heute) passt nicht zu Angabe bei FEP 1.3.04.01 (ab 70.000 Jahre nach heute). Wenn in der zitierten Quelle (Becker 2003) eine andere Position vertreten wird, die Bedeutung für die Einschätzung haben könnte, sollte diese Position erläutert werden.

Im Abschnitt „Sachlage“ wurde am Ende des 1. Absatzes der Text geändert und ergänzt: „BECKER (2003) schlägt ein Mittelmeerklima für die Referenzbiosphäre an einem Endlagerstandort vor.“ Im 2. Absatz wurde der letzte Satz gestrichen.

RT: Im Punkt „Standortspezifische Auswirkungen” werden offenbar nur die Auswirkungen für die „nahe geologische Zukunft“ betrachtet. Auch die für die „nahe Zukunft“ erwarteten Veränderungen sollten angesprochen werden (z. B. Auswirkungen katastrophaler vulkanischer Ereignisse). Die Bedeutung einer Schachtstandzeit <10.000 Jahre bleibt unklar.

Der Referenzstandort ist so gewählt, dass im Betrachtungszeitraum keine vulkanischen Ereignisse erwartet werden.

Die Formulierung im Abschnitt „Standortspezische Auswirkungen“ wurde wie folgt geändert: „… im Vergleich zu den bei der Auslegung zugrunde gelegten Schachtstandzeiten…“ und der Satz ergänzt: „Sollten sich aufgrund von Treibhausgas-Emissionen die Temperaturen derart erhöhen, dass es zu einem Abschmelzen der großen antarktischen und grönländischen Gletscher kommt, ist damit ein Anstieg des Meeresspiegels und eine Überflutung des Referenzstandortes verbunden (vgl. FEP Transgression oder Regression).“

RT: Die Angaben zur zeitlichen Entwicklung einer künftigen Kaltzeit und zum zeitabhängigen Auftreten damit verbundener Prozesse beruhen auf Modellvorstellungen. Angesichts der der zeitabhängigen Funktionstüchtigkeit von Teilsystemen des Endlagersystems stellt sich die Frage nach der Belastbarkeit modellmäßig abgeleiteter Zeitangaben bei Sicherheitsbetrachtungen.

Es wurde ein hypothetisches Klimabild erstellt, das den klimatischen Verlauf für den Betrachtungszeitraum beschreibt. Das Klimabild bezieht sich auf die bekannten, aus der Vergangenheit abgeleiteten klimatischen Fakten und wird damit von den Klimamodellierungen entkoppelt, die bislang noch auf mangelndem Systemverständnis globaler Klimaänderungen beruhen.

1.3.02.01 Lokale Klimaänderung (ist entfallen)

IT: FEP ist entfallen.

Die für die Langzeitsicherheit des Endlagersystems relevanten Klimaänderungen werden im FEP 1.3.01.01 „Globale klimatische Veränderungen“ behandelt. Das FEP ist daher entfallen.

1.3.03.01 Transgression / Regression

IT: Begründung für Bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit und Einwirkung auf ewB

Transgressionen oder Regressionen sind im Betrachtungszeitraum wahrscheinlich. Sie wirken aber nur indirekt über z. B. das FEP Spannungsänderung und Spannungsumlagerung auf die einschlusswirksamen Barrieren aufgrund einer erhöhten Auflast durch das Meerwasser ein. Das FEP ist bei der Handhabung der Endlagerteilsysteme daher nur für das Deck- und Nebengebirge "zu berücksichtigen".

RT: Der Punkt „Definition / Kurzbeschreibung“ ist um die Begriffe „Vorrücken“ / „Rückzug“ (oder entsprechend) des Meeres zu ergänzen. Die Auswirkungen von Transgression sollten angesprochen werden.

Die Definition wurde wie folgt geändert: „Transgression / Regression bedeutet eine land- / seewärtige Verlagerung der Küstenlinie, die mit dem Vorrücken und dem Rückzug des Meeres verbunden ist.“

Der Abschnitt „Standortspezische Auswirkungen“ wurde ergänzt: „Durch eine Anhebung des Meeresspiegels ändern sich die hydrogeologischen Verhältnisse. Das bestehende hydraulische Potential wird abgebaut und es kommt zu einer oberflächennahen Versalzung des Grundwassers. Beide Folgeerscheinungen verzögern die Ausbreitung der Radionuklide. Durch die geänderten Grundwasserverhältnisse werden sich die Subrosionsraten stark verringern.“

IT: vorletzter Satz in Sachlage ergänzt

„Durch das Abschmelzen der großen antarktischen und grönländischen Eismassen ist ebenfalls eine Transgression des Meeres möglich."

1.3.04.01 Permafrost

IT: Begründung für Bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit und Einwirkung auf ewB

Während der Entwicklung einer Kaltzeit ist Permafrost wahrscheinlich. Die Einwirkung auf die einschlusswirksame Barriere Wirtsgestein erfolgt nur indirekt durch das FEP Thermische Expansion oder Kontraktion in Folge der kaltzeitlichen Temperaturerniedrigung im Wirtsgestein. Eine mögliche Beeinflussung der Schachtverschlüsse ist sicherheitstechnisch nicht relevant, da die kaltzeitliche Temperaturerniedrigung mit der Bildung von Permafrost erst nach Ablauf der vorgesehenen Barrierenstandzeit auftritt.

IT: Einwirkung auf die ewB, geändert

Nur indirekte Einwirkung auf die Funktion der einschlusswirksamen Barriere Wirtsgestein (vgl. Begründung Eintrittswahrscheinlichkeit).

IT: letzter Abs. in „Allgemeine Informationen" geändert

Mit den drei FEPs Permafrost, Inlandvereisung in randlicher Lage sowie Vollständige Inlandvereisung wird der Ausbreitung des Inlandeises während einer sich entwickelnden Kaltzeit Rechnung getragen und ein bestimmter Zustand in der kaltzeitlichen Entwicklung beschrieben. Für die Dauer des Zustandes gilt ein bestimmter Zeitrahmen, in dem spezifische kaltzeitliche Prozesse ablaufen. Sie werden zusammenfassend in den genannten FEPs aufgeführt und nicht als eigenständige FEPs beschrieben.

RT: Bei der Definition ist der Eindruck zu vermeiden, dass Permafrost ein Zeitabschnitt ist.

Die Definition wurde wie folgt geändert: „Zustand des Bodens im Gefolge der Entwicklung einer Kaltzeit am Referenzstandort. Der Inlandeisgletscher erreicht den Standort nicht."

Weiterhin wurde unter „Weitere Informationen" folgender Satz eingefügt: „Permafrostboden entsteht, wenn die Jahresmitteltemperaturen niedriger als -2 °C sind."

RT: Die Begründung für die Erhaltung des oberflächlichen Abflussregimes gilt nur solange, wie nahes Inlandeis oder von ihm verursachte Veränderungen nicht zu größeren Veränderungen im Entwässerungssystem geführt haben. Kontraktionsrisse im Salzstock, die bis in 600 m Tiefe reichen (können), kann man kaum noch als oberflächennah bezeichnen. Ihre sicherheitliche Bedeutung, auch im Zusammenwirken mit anderen Phänomenen, sollte beschrieben werden (oder auf entsprechendes FEP verwiesen werden).

Bezüglich des oberflächlichen Abflussregimes wird laut Definition Inlandeis ausgeschlossen.

Im Abschnitt „Standortspezische Auswirkungen“ wurde der 3. Absatz geändert: „…..dürfte der oberflächliche Wasserabfluss am Referenzstandort bis zur Ankunft des Gletschers im Wesentlichen in gleicher Weise wie heute gestaltet sein.“
Weiterhin wurden der vorletzte und der drittletzte Absatz überarbeitet: „……. diese Vorstellungen zu stützen. Allerdings ist die geologische Situation im Hannoverschen Raum anders geartet. Die Salzstockoberfläche des Referenzstandortes liegt mit ca. 250 bis 300 m wesentlich tiefer als die der hannoverschen Salzstöcke und tiefer als der zu erwartende Permafrost. Damit wird die Abkühlung des Salzstocks geringer sein und Kontraktionsrisse werden allenfalls in den oberen Teilen des Salzstocks zu unterstellen sein.“
„….. zum Versagen der Schachtabdeckungen führt.“

RT: Die Zeitangabe zum Maximum der nächsten Kaltzeit unterscheidet sich von Angaben unter FEP 1.3.01.01.

Die unterschiedlichen Zeitangaben wurden vereinheitlicht.

RT: Falls verfügbar, sollte auf Befunde aus dem norddeutschen Tiefland oder von anderswo Bezug genommen werden, die zur Umgestaltung des Grundwasserregimes unterhalb des Permafrostbereichs konkretere Aussagen erlauben als die angeführten Ergebnisse von Modellrechnungen und generische Betrachtungen.

Es sind keine Beispiele für Grundwasserregime unterhalb des Permafrostbereichs bekannt.

IT: Offene Fragen, Forschungsbedarf, eingefügt

Die von BAUER (1991) beschriebenen Kontraktionsrisse müssen nochmals einer eingehenden Bewertung unterzogen werden, um die Gültigkeit der Aussagen zu bestätigen und die Übertragbarkeit auf die Verhältnisse am Referenzstandort zu begründen.

1.3.05.01 Inlandvereisung in randlicher Lage

IT: Begründung für Bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit und Einwirkung auf ewB

Im Zuge einer Kaltzeitentwicklung ist ein Zustand wahrscheinlich, bei dem das Inlandeis randlich am Referenzstandort verweilt. Die Einwirkung auf die einschlusswirksame Barriere Wirtsgestein erfolgt nur indirekt über das FEP Thermische Expansion oder Kontraktion in Folge der kaltzeitlichen Temperaturerniedrigung im Wirtsgestein, da im Vorfeld des Gletschers Permafrost vorhanden ist (vgl. FEP Permafrost). Daher müssen die im FEP Per-

mafrost aufgeführten Abhängigkeiten auch für das FEP Inlandvereisung in randlicher Lage gelten und genannt werden.
Eine mögliche Beeinflussung der Schachtverschlüsse ist sicherheitstechnisch nicht relevant, da mit dem Zustand Inlandvereisung in randlicher Lage erst nach Ablauf der vorgesehenen Barrierenstandzeit zu rechnen ist.

RT: Nicht das Eis, der Eisrand kommt zum Stehen. Konkretere Angabe zu „geringe Entfernung“ zum Eisrand sind wünschenswert. Die Aussage zur Entfernung des Referenzstandortes zur nächstgelegenen weichseleiszeitlichen Eisrandlage passt besser zum Punkt „Weitere Informationen und Beispiele“. Die Richtung eines zukünftigen Eisvorstoßes in das Gebiet des Referenzstandortes lässt sich wahrscheinlich eher aus den generellen Vorstoßrichtungen während des Eiszeitalters als aus dem Brandenburgstadium ableiten. Der Begriff „gesteigerte“ Subrosionsraten ist zu erläutern.
Unter dem Punkt „Abhängigkeiten“ ist auf Deckungsgleichheit mit Angaben unter „Standortspezifische Auswirkungen“ (Subrosion) zu achten.

Die allgemeinen Bemerkungen des Review-Teams werden in die Überlegungen mit einbezogen.

Subrosionsraten: Es werden nur durchschnittliche Werte genutzt, die den vergangenen Zeitraum von 1 Mill. J. abdecken. Kurzfristige Erhöhungen der Raten stehen ebensolchen mit Erniedrigungen gegenüber. Eine detaillierte Beschreibung der Subrosion hat in der Standortbeschreibung mit dem geologischen Modell zu erfolgen.

Der Text unter „Weitere Informationen“ wurde durch den letzten Satz, der aus „Sachlage am Referenzstandort“ hierher verschoben wurde, ergänzt.

RT: Es sollte erläutert werden, wie mit den beschriebenen Auswirkungen, z. B. gesteigerten Subrosionsraten, umgegangen werden soll (im FEP 1.2.09.02 Subrosion werden „gesteigerte“ Subrosionsraten nur pauschal betrachtet).

Der Text unter „Standortspezische Auswirkungen“ wurde wie folgt überarbeitet: 3. Absatz, 1. Satz: Klammer gestrichen. Letzter Satz, geändert: „….mit gesteigerten Subrosionsraten durch Frischwasserzufuhr am Salzspiegel möglich macht.“

IT: letzter Absatz in „Allgemeine Informationen“ geändert

Mit den drei FEPs Permafrost, Inlandvereisung in randlicher Lage sowie Vollständige Inlandvereisung wird der Ausbreitung des Inlandeises während einer sich entwickelnden Kaltzeit Rechnung getragen und ein bestimmter Zustand in der kaltzeitlichen Entwicklung beschrieben. Für die Dauer des Zustandes gilt ein bestimmter Zeitrahmen, in dem spezifische kaltzeitliche Prozesse ablaufen. Sie werden zusammenfassend in den genannten FEPs aufgeführt und nicht als eigenständige FEPs beschrieben.

RT: Unter den Literaturquellen fehlen Beschreibungen der Verhältnisse (Grundwasser u.s.w.).

Das Literaturverzeichnis wurde ergänzt.

1.3.05.02 Vollständige Inlandvereisung

IT: Begründung für Bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit und Einwirkung auf ewB

Im Zuge einer Kaltzeitentwicklung ist ein Zustand wahrscheinlich, bei dem das Inlandeis den Referenzstandort vollständig überdeckt. Die Einwirkung auf die einschlusswirksame Barriere Wirtsgestein erfolgt direkt über die Bildung eiszeitlicher Rinnen.
Eine mögliche Beeinflussung der Schachtverschlüsse ist sicherheitstechnisch nicht relevant, da mit dem Zustand Vollständige Inlandvereisung erst nach Ablauf der vorgesehenen Barrierenstandzeit zu rechnen ist.

RT: Hier sollten Verweise auf FEPs eingefügt werden, in denen Aussagen zu hier nur gestreiften Aspekten bzw. Fragen (Zunahme oder Abnahme der hydraulischen Durchlässigkeit einzelner Schichten oder Schichtpakete, Verbindung zuvor hydraulisch getrennter Aquifersysteme durch Eistektonik, Auswirkungen der kaltzeitlichen Absenkung des Meeresspiegels auf das Grundwasserregime und resultierende sicherheitliche Konsequenzen) zu finden sind.

Die FEP-Verweise wurden eingefügt.

RT: Unter dem Punkt „Abhängigkeiten“ ist die Aufzählung nicht deckungsgleich mit Angaben unter „Standortspezifische Auswirkungen“ (Subrosion).

Der 2. Satz unter „Standortspezische Auswirkungen“ wurde wie folgt ergänzt: „…, die zu einer Zunahme oder Abnahme der hydraulischen Durchlässigkeit der wasserstauenden und -leitenden Schichten führt“.

RT: Die Belastbarkeit der Erwartung einer Kaltzeit „nur“ vom Typus und Ausmaß Weichsel-Eiszeit ist zu belegen. S. auch 1.3.01.01.

Die Erwartung einer Kaltzeit vom Ausmaß einer Weichseleiszeit leitet sich aus einem hypothetischen Klimabild ab, das den klimatischen Verlauf für den Betrachtungszeitraum beschreibt. Das Klimabild bezieht sich auf die bekannten, aus der Vergangenheit abgeleiteten klimatischen Fakten und wird damit von den Klimamodellierungen entkoppelt, die bislang noch auf mangelndem Systemverständnis globaler Klimaänderungen beruhen. Die Vergangenheit wird in die Zukunft extrapoliert.

Unter „Weitere Informationen“ wurde der folgende Satz an den 1. Absatz angefügt: „Die verglichen mit Skandinavien geringe Eisauflast in Norddeutschland verursachte nur eine entsprechend geringe Krustendeformationen, deren Auswirkungen geologisch kaum nachzuweisen sind.“

IT: „Allgemeine Informationen“überarbeitet und letzter Absatz geändert

Mit den drei FEPs Permafrost, Inlandvereisung in randlicher Lage sowie Vollständige Inlandvereisung wird der Ausbreitung des Inlandeises während einer sich entwickelnden Kaltzeit Rechnung getragen und ein bestimmter Zustand in der kaltzeitlichen Entwicklung beschrieben. Für die Dauer des Zustandes gilt ein bestimmter Zeitrahmen, in dem spezifische kaltzeitliche Prozesse ablaufen. Sie werden zusammenfassend in den genannten FEPs aufgeführt und nicht als eigenständige FEPs beschrieben.

1.3.06.01 Warmaride Klimaverhältnisse (ist entfallen)
1.3.06.02 Feuchtwarme Klimaverhältnisse (ist entfallen)

IT: FEPs sind entfallen.

Damit Deutschland in eine feuchtwarme oder warmaride Klimazone gelangt, müssten sich langfristig durch plattentektonische Prozesse die Lage der Kontinente, die morphologische Ausgestaltung der Landmassen und die Intensität sowie der Verlauf der großen Meeresströmungen grundlegend verändern. Das ist aufgrund der für solche Prozesse möglichen Geschwindigkeiten nur im Laufe von Jahrmillionen zu erwarten. Daher sind die FEPs in die Gruppe der langfristigen Prozesse einzustufen, die innerhalb der nächsten Million Jahre keine sicherheitsrelevante Bedeutung besitzen. Die FEPs sind daher entfallen.

1.3.07.01 Hydrogeologische Veränderungen (ist entfallen)

IT: FEP ist entfallen.

Die geänderten hydrogeologischen Verhältnisse während einer Eiszeit sind in den FEPs 1.3.04.01 Permafrost, 1.3.05.01 Inlandvereisung in randlicher Lage und 1.3.05.02 Vollständige Inlandvereisung beschrieben. Die Auswirkungen anderer Klimaverhältnisse sind nicht zu betrachten (vgl. FEPs 1.3.06.01-02). Das FEP ist daher entfallen.

1.3.08.01 Veränderung des Ökosystems aufgrund eines Klimawandels (ist entfallen)

IT: FEP ist entfallen.

Die Prognose der zukünftigen Biosphäre ist nicht Gegenstand des ISIBEL-FEP-Katalogs. Für die Abschätzung einer möglichen Strahlenexposition im Zuge der zukünftigen Entwicklung des Endlagersystems werden vom Gesetzgeber im Regelwerk Vorgaben für eine Referenzbiosphäre festgelegt. Das FEP ist daher entfallen.

1.3.09.01 Veränderung der menschlichen Lebensweise (ist entfallen)

IT: FEP ist entfallen.

Die Prognose der zukünftigen Biosphäre und der menschlichen Lebensweise istd nicht Gegenstand des ISIBEL-FEP-Katalogs. Für die Abschätzung einer möglichen Strahlenexposition im Zuge der zukünftigen Entwicklung des Endlagersystems werden vom Gesetzgeber im Regelwerk Vorgaben für eine Referenzbiosphäre und die zu unterstellende Lebensweise festgelegt. Das FEP ist daher entfallen.

1.4 Zukünftige menschliche Handlungen (komplett entfallen)

IT: FEP-Gruppe ist entfallen.

Zukünftige menschliche Handlungen, die die geologischen und geotechnischen Barrieren beeinträchtigen können, müssen im Sicherheitsnachweis berücksichtigt werden. Es gibt aber keine wissenschaftliche Grundlage für die systematische Ableitung solcher Handlungen im Rahmen einer Szenarienentwicklung. Daher ist eine gesonderte Behandlung der Thematik erforderlich. Dies ist nicht Gegenstand des ISIBEL-FEP-Katalogs.

Der menschliche Einfluss auf das Klima wird – soweit prognostizierbar – bei der Beschreibung der FEPs in Abschnitt 1.3 berücksichtigt.

1.5.01.01 Meteoriteneinschlag

IT: Begründung für die Bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit und die Einwirkung auf ewB

Die drastischen Auswirkungen eines die Barrieren des Endlagers zerstörenden großen Meteoriteneinschlags sind für den Menschen und die Umwelt wesentlich bedeutsamer, als eine Freisetzung von Radionukliden aus dem Endlager.
Im Zusammenhang mit der Sicherheit des Endlagers wird das FEP Meteoriteneinschlag daher nicht betrachtet.

RT: Es fehlt eine Erläuterung, worauf sich die Wahrscheinlichkeit im Satz „Die Wahrscheinlichkeit für einen großen Meteoriteneinschlag auf die Erde ist kleiner als eins zu einer Million“ bezieht und was groß im hier diskutierten Zusammenhang bedeutet.

Der Abschnitt „Allgemeine Informationen“ wurde überarbeitet: „Etwa alle 1000 Jahre können Meteoriten mit ca. 102 Megatonnen TNT äquivalent auf der Erde einschlagen. Größere Meteoriten mit einer in den Untergrund reichenden Zerstörungskraft treten selten auf. Prinzipiell nimmt die Einschlagwahrscheinlichkeit mit Zunahme der Größe von Himmelskörpern ab.
Nach Frater (2005) ist alle 100 Millionen Jahre mit dem Einschlag eines mehrere Kilometer großen Meteoriten von der Größe des K/T (Kreide/Tertiär)-Meteoriten zu rechnen, dessen Einschlag am Übergang von der Kreidezeit zum Tertiär vor 65 Mio. Jahren einen Krater mit 180 km Durchmesser ausgebildet hat, eine Zerstörungskraft von ca. 108 Megatonnen TNT äquivalent hatte und als Ursache für das Aussterben vieler Spezies, z. B. der Dinosaurier, angesehen wird. Zum Vergleich: das weltweite Atomwaffenarsenal beträgt etwas mehr als 104 Megatonnen TNT äquivalent (aus FRATER 2005).“

RT: Die Aussage, „Der direkte Einschlag eines Meteoriten am Endlagerstandort kann die Integrität des Wirtsgesteins vollständig zerstören und die des Nahfeldes erheblich schädigen“, ist missverständlich formuliert.

Unter „Standortspezische Auswirkungen“ wurde der 2. Absatz 1. Satz geändert: „….kann die Integrität des Wirtsgesteins und alle Endlagerkomponenten vollständig zerstören.“

1.5.02.01 Artenevolution (ist entfallen)

IT: FEP ist entfallen.

Die Prognose der zukünftigen Biosphäre ist nicht Gegenstand des ISIBEL-FEP-Katalogs.

1.5.03.01 Wegsamkeiten in Erkundungsbohrungen

IT: Begründung für Bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit und Einwirkung auf ewB

Die tatsächliche Lage der Bohrungen wird bei der Standortwahl der Einlagerungsfelder berücksichtigt. Daher ist nur das Wirtsgestein außerhalb des Einlagerungsbereiches zu berücksichtigen.
Die Erkundungsbohrungen von Übertage können in Ausbreitungsrechnungen Eingang finden, wenn zu unterstellen ist, dass die Bohrungen hydraulische Kurzschlüsse zwischen Aquiferen verursachen und diese zu einer veränderten Radionuklidausbreitung mit sicherheitsrelevanten Konsequenzen führen.

RT: Es ist klarzustellen, dass nicht nur die Salzspiegelbohrungen zementiert worden sind.

Unter „Sachlage“ wurde am Ende des 1. Absatzes der folgende Satz ergänzt: „Die anderen Bohrungen wurden ebenfalls mit Zement verfüllt.“

RT: In dem Satz „Etwaige Wegsamkeiten in Erkundungsbohrungen im Wirtsgestein werden durch die Konvergenz (…) geschlossen.“ wird Wirtsgestein im Sinne von Steinsalz verwendet. Das stimmt nicht mit der Festlegung für den FEP-Katalog überein. Für die anderen Gesteinstypen im Wirtsgestein im Sinne des FEP-Katalogs wäre die Aussage noch zu belegen.

Unter „Standortspezische Auswirkungen“ wurde der letzte Satz wie folgt geändert: „…..Erkundungsbohrungen im Salzgestein werden durch …..“.
Und danach eingefügt: „Das FEP ist für das Wirtsgestein des Einlagerungsbereiches auszuschließen, da ein ausreichender Sicherheitspfeiler zwischen Erkundungsbohrungen und Einlagerungsbereich besteht, die Strecken des Einlagerungsbereiches durch Verschlussbauwerke vom übrigen Grubengebäude getrennt sind und die Bohrungen vollständig und qualitätsgesichert verfüllt wurden. Zudem wird vermieden, sicherheitsrelevante Gesteinsbereiche wie z. B. die Hauptanhydritblöcke aus dem Einlagerungsbereich heraus anzubohren. Das Wirtsgestein der übrigen Endlagerbereiche wird berücksichtigt.“

Unter „Begründungen“ wurde nach dem 1. Satz eingefügt: „Zudem wird vermieden, sicherheitsrelevante Gesteinsbereiche wie z. B. die Hauptanhydritblöcke von Untertage anzubohren.“
Außerdem wurde der letzte Satz wie folgt geändert: „Die Erkundungsbohrungen von Übertage können in Ausbreitungsrechnungen berücksichtigt werden, wenn zu unterstellen ist, dass die Bohrungen hydraulische Kurzschlüsse zwischen Aquiferen verursachen und diese zu einer veränderten Radionuklidausbreitung mit sicherheitsrelevanten Konsequenzen führen.“

Die Aussagen bezüglich des Verschließens von Wegsamkeiten in Bohrungen durch Konvergenz beziehen sich nur auf das Salz. Hauptanhydritblöcke werden von Untertage möglichst

nicht oder nur aus dem Erkundungsbereich heraus angebohrt. Bohrungen, die von Übertrage den Hauptanhydrit angetroffen haben, wurden qualitätsgesichert verfüllt.

RT: Der Widerspruch zwischen „Wirtsgestein: Nicht zu berücksichtigen“ und „Die Erkundungsbohrungen von Übertage sind (…) zu berücksichtigen, wenn (…).“ sollte aufgelöst werden, da es Erkundungsbohrungen gibt, die in den Wirtsgesteinskörper hineinreichen.
Es sollte auch erläutert werden, wie die vier Tiefbohrungen am Referenzstandort behandelt worden sind.

Das FEP wird für das Wirtsgestein berücksichtigt (s. o.). Die Tiefbohrungen befinden sich außerhalb des Einlagerungsbereiches und sind von einem Sicherheitspfeiler umgeben.

2.1.01.01 Inventar: Radionuklide

IT: Begründung eingefügt.

Es wurden Begründungen für die Einstufungen des FEP bezüglich der „Bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit“, der „Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren“ und der „Handhabung“ eingefügt.

IT: Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren geändert

Aus dem Radionuklid-Inventar ergeben sich keine „Einwirkungen auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren“. Daher wurde die Einstufung auf „nicht zu betrachten“ geändert.

RT: Die Angaben zu den Aktivitäten der natürlichen Radionuklide und zur Gesamtaktivität der HAW-Kokillen sollten überprüft werden. Das Inventar eines Endlagers hängt von der Menge der Abfälle (siehe Konrad) und / oder den Grenzwerten ab. Durch die vom Abfallhersteller angegebenen Garantiewerte werden die tatsächlichen Aktivitäten stark überschätzt. Die realen Aktivitäten sollten ermittelt werden.

Die Überschätzung der Aktivitäten der natürlichen Radionuklide wird als akzeptabel angesehen. Die Aktivitätsangaben zu den HAW-Kokillen stammen aus den Herstellerangaben. Die Inventarbeschreibungen umfasst Mengen- und Aktivitätsangaben. Für Brennelemente sollte die GNS-Datenbank präzise Angaben liefern. Die Ermittlung belastbarer Aktivitätsinventare für WA-Abfälle wird als Forschungsbedarf aufgenommen.

RT: Die Ausführungen zu den Auswirkungen sind nicht standortspezifisch.

Der Punkt „Auswirkungen im betrachteten Endlagersystem“ wurde wie folgt überarbeitet:
Das standortspezifische Radionuklidinventar und die resultierenden thermischen Einwirkungen auf das Salzgebirge, das Grubengebäude und die geotechnischen Barrieren bilden eine wesentliche Auslegungsanforderung für die Endlagerplanungen. Für das Referenzendlagerkonzept wurde festgelegt, dass ein Temperaturgrenzwert von 200°C an der Behälteroberfläche nicht überschritten werden darf, wobei auch mögliche Überlagerungen der Temperatureinwirkungen benachbarter Einlagerungsbereiche zu berücksichtigen sind. Somit bestimmt die Wärmeleistung der eingelagerten Abfälle die Anzahl der Abfallgebinde je Einlagerungsbohrloch bzw. - strecke sowie die Abstände zwischen den Einlagerungsbohrlöchern, -strecken und -bereichen und zu temperatursensiblen Carnallitit-Ablagerungen. Weiterhin

bestimmt das Radionuklidinventar die Menge der mobilisierbaren und damit potentiell freisetzbaren Radionuklide (Quellterm). Aus der Stärke der gamma-Dosisleistung der Endlagergebinde ergibt sich die Intensität der Radiolyse.

Durch eine entsprechende Auslegung der Abfallgebinde und das Einlagerungskonzept wird eine Kritikalität des eingelagerten spaltbaren Materials in den Brennelementen ausgeschlossen.

2.1.01.02 Inventar: Metalle

IT: Begründung eingefügt.

Es wurden Begründungen für die Einstufungen des FEP bezüglich der „Bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit“, der „Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren“ und der „Handhabung“ eingefügt.

IT: Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren geändert

Da die Behälter nicht mehr als einschlusswirksame Barrieren betrachtet werden, ergeben sich aus dem Metall-Inventar keine „Einwirkungen auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren“. Daher wurde die Einstufung auf „nicht zu betrachten“ geändert.

RT: Das Metallinventar ist abhängig vom Einlagerungskonzept. Es ist unklar, wie der Satz zu verstehen ist, dass das „Inventar die Komplexbildung beeinflusst.“

Bei Stoffmobilisierung durch Lösungszutritt können Komplexbildner (z.B. Chelatkomplexe) bereitgestellt werden.

RT: Forschungsbedarf bei Rückhaltung

Unter „Forschungsbedarf“ ergänzt: Rückhaltung durch Ausfällung / Sorption

2.1.01.03 Inventar: Organika

IT: Begründung eingefügt.

Es wurden Begründungen für die Einstufungen des FEP bezüglich der „Bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit“, der „Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren“ und der „Handhabung“ eingefügt.

RT: Die standortspezifischen Bedingungen unter denen die Organika zersetzt werden, bedürfen der tieferen Bearbeitung und sollten als offene Fragen benannt werden. Die Bildung von Gas aus Organika wie Bitumen und Asphalt ist zumindest kein schnell stattfindender Prozess, da in der gegebenen Auflistung viele schwer abbaubare Kunststoffe (PVC) aufgeführt sind. Massenangaben fehlen und sind abhängig vom Konzept.

Als Forschungsbedarf bzw. offene Punkte wurden aufgenommen:

- Ermittlung der Massen organischer Bestandteile von Einbauten in der Grube (z. B. Kunststoffummantelung / Kleber von Ankern und Kabeln), die nicht rückgebaut werden.
- Ermittlung der Massen organischer Bestandteile in den Barrierematerialien, die beim Verschluss des Endlagers in die Grube eingebracht werden (z. B. Bitumen und Asphalt).
- Zersetzung und Gasbildung aus Organika im salinaren Milieu mit besonderem Schwerpunkt auf den schwer abbaubaren Kunststoffen (PVC).

Weiterhin wurde in der Kurzbeschreibung „Neutronenmoderator“ ergänzt und „Versatz“ gestrichen.

RT: Es scheint eine Konfusion zwischen beeinflussenden und beeinflussten FEPs vorzuliegen.

Die Zuordnung zu „beeinflussende“ oder „beeinflusste“ FEPs ist korrekt; gemeint sind jeweils die in der Kausalkette unmittelbar als nächstes folgenden FEPs.

2.1.01.04 Inventar: Sonstige Stoffe

IT: Begründung eingefügt.

Es wurden Begründungen für die Einstufungen des FEP bezüglich der „Bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit“, der „Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren“ und der „Handhabung“ eingefügt.

RT: Die Tonnage-Angaben des Graphits im Kohlesteinmoderator und Reflektormaterial aus AVR und THTR fehlen in der Aufstellung.

Es ist z.Z. noch nicht klar, ob diese Abfälle in das HAW-Endlager oder in das Endlager Konrad kommen. Ein entsprechender Hinweis wurde in den Text eingefügt.

RT: Ebenso fehlt eine Diskussion der unterschiedlichen Aktivierungsgrade.

Entsprechende Ausführungen finden sich im FEP 2.1.13.01 Strahlungsinduzierte Aktivierung.

RT: Es bleibt unklar, wieso das Inventar an sonstigen Stoffen die Matrixkorrosion beeinflusst.

Das Inventar der sonstigen Stoffe beeinflusst das geochemische Milieu und dadurch indirekt auch die Matrixkorrosion.

IT: Beeinflussendes FEP ergänzt

Unter Beeinflussende FEPs wurde „Alteration von Strecken- und Schachtverschlüssen“ ergänzt.

2.1.02.01 Abfallmatrix: Zusammensetzung (Titel geändert)

IT. Zusammenfassung mit FEP „Abfallmatrix: Eigenschaften“ und Umbenennung

Das FEP wurde in „**Abfallmatrix**“ umbenannt und mit 2.1.02.02 „Abfallmatrix: Eigenschaften“ zusammengeführt. Ein Ziel der Überarbeitung des FEP-Kataloges ist es, FEPs zusammenzuführen, die einen ähnlichen Informationsgehalt haben.

RT: Die CSD-C Technologieabfälle beinhalten neben kompaktierten Hülsen und Strukturteilen auch Glas und Teile des Schmelzers und anderer Einbauten aus der Verglasungszelle.

Die angesprochenen Aspekte wurden in „Sachlage am Referenzstandort“ ergänzt.

RT: Angaben zu Zement und Bitumen sind nicht relevant für ein Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle. Bentonit als Abfallmatrix ist international nicht betrachtet worden.

Die Angaben im Feld „Weitere Informationen und Beispiele“ sind allgemeiner Natur und können auch Aspekte alternativer Endlagerkonzepte enthalten. Dies wurde in der überarbeiteten Fassung des FEP deutlich gemacht (u.a. Umbenennung des Feldes in Allgemeine Informationen und Beispiele). Bentonit wurde als Option herausgenommen.

2.1.02.02 Abfallmatrix: Eigenschaften (ist entfallen)

IT: FEP ist entfallen

Das FEP wurde gelöscht. Der Inhalt des FEPs wird mit dem FEP 2.1.02.01 Abfallmatrix: Zusammensetzung in den neuen FEP „Abfallmatrix“ zusammengeführt. Ein Ziel der Überarbeitung des FEP-Kataloges ist es, FEPs zusammenzuführen, die einen ähnlichen Informationsgehalt haben.

RT: Das angeführte Freisetzungsszenarium für Brennstoff ist falsch. Die "instant release fraction" bezieht sich auf eine Freisetzung in eine Lösung und nicht in den Gasraum.

Der angesprochene Fehler wurde korrigiert.

RT: Die zitierte Literatur beinhaltet nur unveröffentlichte Berichte.

Die Literatur wurde überarbeitet.

2.1.03.01 Zusammensetzung des Behältermaterials
2.1.03.02 Eigenschaften der Behälter

IT: Zusammenfassung der FEPs

Die beiden FEPs wurden aufgrund des engen Zusammenhangs zwischen der Zusammensetzung und den Eigenschaften der Behälter in einem **neuen FEP 2.1.03.01 Behälter** zusammengefasst. Die FEP-Beschreibungen wurden entsprechend geändert

IT: Begründung eingefügt.

Es wurden Begründungen für die Einstufungen des FEP bezüglich der „Bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit“, der „Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren“ und der „Handhabung“ eingefügt.

RT: Die Kokille CSD-C ist vermutlich nicht als Barriere zu sehen. Bei der Auswahl der Materialien fehlen die Begriffe Kompatibilität zum Wirtsgestein, zu der Abfallmatrix und zu den Herstellungsbedingungen (Glasschmelze, Dekontamination etc.).

Es werden keine Anforderungen an die Standzeit von CSD-C-Kokillen in der Nachbetriebsphase gestellt. Die Kokillen werden wahrscheinlich nach kurzer Zeit durch den Gebirgsdruck zerdrückt. Eine Kompatibilität der Behältermaterialien mit dem Wirtsgestein wird nicht gefordert. Die Kompatibilität mit der Abfallmatrix und den Herstellungsbedingungen wurde im Text eingefügt.

RT: Den Kokillenstahl (1.4833), der zu Spannungsriss- und Lochfraßkorrosion neigt, betreffende Unterschiede zum aktiv korrodierenden Stahl der BSK3 bzw. des POLLUX sind deutlich zu machen. Es sollte auf Möglichkeiten, Standzeiten zu ermitteln, verwiesen werden. Ein FEP Wasserstoffversprödung fehlt.

Da keine Anforderungen an die Standzeit der Behälter bestehen, ist eine Beeinträchtigung der Behälterintegrität durch Korrosion nur von untergeordneter Bedeutung. Nur die CASTOR und POLLUX-Behälter halten dem Gebirgsdruck stand und schließen die Abfälle zu Beginn der Nachbetriebsphase noch ein. Die Integrität der Kokillen wird nach kurzer Zeit durch den Gebirgsdruck zerstört, so dass eine Zerstörung des Behältermaterials durch Korrosion im Hinblick auf den Einschluss der Abfälle nicht mehr relevant ist. Die Behälterkorrosion ist für den Langzeitsicherheitsnachweis vor allem aufgrund der Gasbildung relevant (2.1.12.01 Gasbildung). Es wurde ein neues FEP Materialversprödung durch Wasserstoffaufnahme (2.1.09.05) in den FEP-Katalog aufgenommen.

IT: Beeinflusste FEPs geändert

Das FEP „Nicht thermisch induzierte Volumenänderung von Materialien“ wurde bei den beeinflussten FEPs gelöscht.

2.1.03.02 Behälterausfall (neues FEP)

IT: Einfügen eines neuen FEP

Es wurde ein neues FEP Behälterausfall eingerichtet, in dem alle Ereignisse und Prozesse zusammengefasst wurden, die zu einem Behälterausfall führen können.

2.1.04.01 Versatzmaterial (Titel geändert)

IT: Umbenennung und Zusammenfassung mit FEP „Versatz: Eigenschaften des Materials“

Das FEP wurde in „**Versatz**“ umbenannt und mit 2.1.04.02 „Versatz: Eigenschaften des Materials“ zusammengefasst. Ein Ziel der Überarbeitung des FEP-Kataloges ist es, FEPs zusammenzuführen, die einen ähnlichen Informationsgehalt haben.

RT: Der Unterschied von Versatzmaterial und Versatzbaustoff sollte erläutert werden. Grundsätzlich sollten gleiche Begriffe für gleiche Sachverhalte verwendet werden.

Es wird nur noch der Begriff Versatz verwendet - gemäß der gegebenen Definition.

RT: Neben den mechanischen und chemischen Eigenschaften werden auch die hydraulischen Eigenschaften des Versatzbaustoffs durch seine Zusammensetzung bestimmt.

Dieser Aspekt wurde bei „Auswirkungen am Referenzstandort“ ergänzt.

RT: Es erscheint wenig realistisch, dass kein Forschungsbedarf bezüglich alternativer Versatzmaterialien besteht.

Der Forschungsbedarf wurde ergänzt. Weitere offene Fragen werden im FEP „Versatzkompaktion“ behandelt. Ein entsprechender Hinweis wurde ebenfalls ergänzt.

IT: Bei der Bearbeitung des FEP wurde die Rolle des Versatzes im Sicherheitskonzeptes diskutiert.

Bei Sachlage wurde eine Begründung ergänzt, warum der Versatz nicht zu den ewB gezählt werden kann: ... ist Salzgrus langzeitig stabil und erreicht durch Kompaktion ähnliche hydraulische Eigenschaften wie Steinsalz. Auf lange Sicht übernimmt er damit die Funktion einer einschlusswirksamen Barriere. Da er die Funktion nicht von Beginn an ausüben kann, wird er aber im Sicherheitskonzept nicht zu den einschlusswirksamen Barrieren gezählt.

2.1.04.02 Versatz: Eigenschaften des Materials (ist entfallen)

IT: FEP ist entfallen.

FEP wurde gelöscht. Der Inhalt des FEPs wird mit dem FEP 2.1.04.01 Versatzmaterial in den neuen FEP „Versatz“ zusammengeführt. Ein Ziel der Überarbeitung des FEP-Kataloges ist es, FEPs zusammenzuführen, die einen ähnlichen Informationsgehalt haben.

2.1.05.01 Zusammensetzung des Verschlussmaterials
2.1.05.02 Eigenschaften des Verschlussmaterials

IT: Zusammenfassung der FEPs und Anpassung der Beschreibungen.

Die beiden FEPs wurden aufgrund des engen Zusammenhangs zwischen der Zusammensetzung und den Eigenschaften des Verschlussmaterials in einem **neuen FEP 2.1.05.01 Verschlussmaterial** zusammengefasst. Die FEP-Beschreibungen wurden entsprechend geändert.

IT: Begründung eingefügt.

Es wurden Begründungen für die Einstufungen des FEP bezüglich der „Bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit“, der „Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren“ und der „Handhabung“ eingefügt.

RT: Es werden Stoffmodelle als vorhanden angekündigt, aber nicht weiter benannt. Stoffmodelle für Bitumen und Asphalt sollten als „offene Punkte“ angeführt werden.

Es wurden entsprechende Literaturzitate eingefügt. Stoffgesetze für Bitumina und Asphalt sind als „offene Punkte“ aufgenommen worden.

RT: Mit „abfließende Medien“ wird eine neue Terminologie eingeführt. Es ist zu begründen, warum der Schachtverschluss unter den Aspekten redundant / diversitär nur ein Dichtelement aufweisen muss.

Der Begriff „Medien“ wurde durch „Fluide“ ersetzt. Für den Schacht ist ein diversitärer Verschluss mit einem Dichtelement aus Bentonit in Kombination mit Aspalt / Bitumen – Abdichtungen sowie zwei Widerlager aus Beton vorgesehen. Die Redundanz ergibt sich aus der Salzgrusverfüllung des Grubengebäudes und den Streckenverschlüssen (aus Salz- oder Sorelbeton).

RT: Die Anforderung „dicht“ bei den Streckenverschlüssen sollte präzisiert werden.

Die Barrieren müssen mindestens so dicht sein, dass sich kein für den advektiven Transport geeigneter Lösungspfad ausbilden kann. Wenn die über den Dichtkörper gemittelte Permeabilität $< 10^{-19}$ m/s beträgt, ist wegen des hohen Kapillardrucks keine Durchströmung mehr möglich.

2.1.05.03 Alteration von Querschnittsabdichtungen

IT: FEP-Nr. und Titel geändert.

Da das FEP 2.1.05.02 „Eigenschaften des Verschlussmaterials“ entfallen ist, wurden die FEP-Nummern der folgenden FEPs angepasst. Außerdem wurde der Titel in folgender Weise geändert: Alteration von Strecken- und Schachtverschlüssen.

IT: Begründung eingefügt.

Es wurden Begründungen eingefügt für die Einstufungen des FEP bezüglich der „Bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit“, der „Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren“ und der „Handhabung“.

RT: Im Punkt „Definition“ sollte die Alteration von Bitumen / Gussasphalt angesprochen werden. Unter dem Aspekt des Isolationsprinzips könnte die bloße Erschwerung der Fluidmigration durch Strecken- und Schachtverschlüsse zu kurz gegriffen sein. Es sollten auch die Auswirkungen von Gasen angesprochen werden.

Die Alteration organischer Barrierenbaustoffe wurde ergänzt. Von völliges Ausschließen von Lösungs- oder Gasbewegungen ist technisch nicht möglich.

RT: Es erscheint nicht sicher, dass tatsächlich Alterationen in geotechnischen Barrieren aus nicht lagerstätteneigenem Material über den im Endlagerkonzept geforderten Nachweiszeitraum derzeit zuverlässig prognostizierbar sind. Es besteht daher noch weiterer Forschungsbedarf zur Lebensdauer der Verschlüsse.

Wurde in die Liste „offene Fragen, Forschungsbedarf“ aufgenommen.

IT: Abhängigkeiten geändert

Da durch die Alteration die Porosität und Permeabilität der Strecken- und Schachtverschlüsse verändert werden kann, wurde „Diffusion“ als beeinflusstes FEP aufgenommen.

2.1.05.04 Fehlerhaftes Erstellen eines Strecken- oder Schachtverschlusses

IT: FEP-Nr geändert.

Da das FEP 2.1.05.02 „Eigenschaften des Verschlussmaterials“ entfallen ist, wurden die FEP-Nummern der folgenden FEPs angepasst.

IT: Begründung eingefügt.

Es wurden Begründungen für die Einstufungen des FEP bezüglich der „Bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit“, der „Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren“ und der „Handhabung“ eingefügt.

RT: Der Begriff der „genauen Rechenverfahren“ sollte näher erläutert werden.

Wurde ersetzt durch „verifizierte und validierte Rechenverfahren“.

2.1.06.01 Technische Einrichtungen und deren Eigenschaften

IT: Begründung eingefügt.

Es wurden Begründungen für die Einstufungen des FEP bezüglich der „Bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit“, der „Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren“ und der „Handhabung“ eingefügt.

RT: Es sollte darauf abgezielt werden, dass verbleibende technische Einrichtungen miniert werden.

Es wurde folgende Erläuterung eingefügt: Beim Rückbau erfolgt eine Abwägung zwischen dem Aufwand für die Rückholung und möglichen Auswirkungen. Falls die Wirksamkeit einschlusswirksamer Barrieren beeinträchtigt werden kann oder mögliche Fliesspfade induziert werden (z.B. bei Kabeltrassen) findet ein Rückbau statt.

2.1.06.02 Lageverschiebung des Schachtfundamentes (ist entfallen)

IT: FEP ist entfallen.

Das Schachtfundament in den Schächten ist unterhalb des Salzspiegels im Steinsalz als Massebauwerk eingebracht. Es trägt den inneren, aus Stahlbeton bestehenden, vom äußeren Schachtausbau durch eine Bitumenschicht entkoppelten Schachtausbau. Das Gewicht dieser Säule trägt Kräfte in das Salzgebirge der Aufstandsfläche ein, das darauf mit Kriechverformungen reagiert.

Die in das Salz eingetragenen Spannungen könnten die Gebirgsintegrität lokal gefährden, integritätswirksame Auswirkungen auf größere Gebirgsbereiche sind jedoch nicht zu besorgen. Daher treten keine Einflüsse im Bereich der Einlagerungshohlräume auf, weder auf Strömungs- oder Diffusionsvorgänge noch auf Spannungsverhältnisse. Das FEP muss daher nicht berücksichtigt werden und kann entfallen.

2.1.06.03 Versagen des Schachtausbaus (ist entfallen)

IT: FEP ist entfallen.

Da das Versagen des Schachtausbaus keine sicherheitstechnische Relevanz hat, entfällt das FEP.

RT: Das Versagen des Schachtausbaus sollte skizziert werden und es sollte dargelegt werden, warum es nur zu Lösungszutritten führen „kann". Der Begriff „Grube" sollte generell nicht verwendet werden (das Salzbergwerk ist hier eine atomrechtliche Anlage, keine Anlage des Bergbaus). Auf den Begriff „Fußkonstruktion" sollte verzichtet werden; besser ist die Bezeichnung „Schachtfundament".

Der Schachtausbau kann durch Korrosion des Ausbaus, mechanische Belastungen oder durch das Entstehen von Umläufigkeiten versagen. Kommt es anschließend zum Lösungszutritt, so ist der Schachtverschluss dagegen ausgelegt.
Die Begriffe werden angepasst.

2.1.07.01 Konvergenz

IT: Begründung eingefügt.

Es wurden Begründungen für die Einstufungen des FEP bezüglich der „Bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit", der „Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren" und der „Handhabung" eingefügt.

IT: Abhängigkeiten überarbeitet.

Beeinflussende FEPs: Auffahrung der Grube, Grubengebäude, Erosion, Sedimentation, Vollständige Inlandvereisung, Deck- und Nebengebirge sowie Maritime Bedingungen sind entfallen.
Beeinflusste FEPs: Erkundungssohle, Grubengebäude, Versagen eines Schacht- und Streckenverschlusses und Absinken der Abfallbehälter sind entfallen. Neu aufgenommen wurden „Spannungsänderung und Spannungsumlagerung" sowie „Wirtsgestein".

2.1.07.02 Überlagerung der Nahfeldwirkungen einzelner Grubenbaue (ist entfallen)

IT: FEP ist entfallen.

Die Inhalte des FEP werden abgedeckt durch die FEPs 2.2.06.01 „Spannungsänderung und Spannungsumlagerung" sowie 2.2.10.03 „Thermisch bedingte Spannungsänderung im Wirtsgestein".

2.1.07.03 Fluiddruck

RT: Der Widerspruch „...kann der Fluiddruck maximal dem lithostatischen Druck entsprechen" und „Fluiddrücke oberhalb des lithostatischen Druckes können…" sollte aufgelöst werden.

Hier handelt es sich nicht um einen Widerspruch, sondern um zwei gesondert zu betrachtende Entwicklungen: Fluiddruck im Endlager ohne und mit Gasbildung. Diese Fallunterscheidung wurde in der neuen Fassung des FEP-Kataloges deutlicher herausgearbeitet. Dabei wurden auch die Untersuchungsergebnisse des IfG im Auftrag des BfS (POPP et al. 2007) herangezogen.

RT: Das FEP sollte nicht als „wahrscheinlich“, sondern als „Randbedingung“ gekennzeichnet werden.

Der Eintrag wurde im FEP-Katralog entsprechend dem Einwand korrigiert.

RT: Es wird erheblicher Forschungsbedarf gesehen, da es nicht nur um eine prinzipielle und irgendwie geartete, sondern um eine zuverlässige und belegte Modellierung / Simulation der Prozesse gehen kann.

Ein entsprechender Forschungsbedarf wurde ergänzt bzw. ein Hinweis auf die entsprechenden FEPs geliefert.

IT: Eine Überarbeitung der Abhängigkeiten war notwendig.

Im FEP-Katalog stand ursprünglich nur das FEP Versatzkompaktion als beeinflussendes FEP, das FEP Konvergenz war als indirekt beeinflussendes FEP angesehen worden. Dieses wurde geändert und stattdessen die Konvergenz als zusätzlich beeinflussendes FEP ergänzt. Bei nicht versetzten Hohlräumen wirkt auch eine Konvergenz auf den Fluiddruck, daher kann hier kein indirekter Einfluss über die Versatzkompaktion vorliegen.

2.1.07.04 Versatzkompaktion

FEP 2.1.07.02 Überlagerung der Nahfeldwirkungen einzelner Grubenbaue ist entfallen, daher Anpassung der FEP-Nr. (2.1.07.03).

IT: Definition geändert

Die Definition wurde wie folgt geändert: „Das Volumen des in das Grubengebäude eingebrachten Versatzes wird durch das Eigengewicht und die fortschreitende Konvergenz zu Lasten der Porosität reduziert“.

IT: Begründung eingefügt.

Es wurden Begründungen für die Einstufungen des FEP bezüglich der „Bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit“, der „Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren“ und der „Handhabung“ eingefügt.

IT: Handhabung geändert

Da die Versatzkompaktion keine direkte Auswirkung auf das Wirtsgestein hat, wurde die entsprechende Einstufung auf „nicht zu berücksichtigen“ geändert.

IT: Zeitliche Beschränkung geändert

Die Versatzkompaktion wird so lange ablaufen bis ein Druckausgleich zwischen dem Versatz und dem Gebirge stattgefunden hat. Die Kompaktionsgeschwindigkeit wird wesentlich durch den Gebirgsdruck und den Fluiddruck in den Poren beeinflusst.

IT: Abhängigkeiten überarbeitet.

Beeinflussende FEPs: „Fluiddruck“ ergänzt.
Beeinflusste FEPs: „Fluiddruck“ ergänzt.

RT: Das Salzgebirge mit K= 10-21 m² als permeabel zu charakterisieren, erscheint ausgesprochen problematisch. Ein Verweis aufs Isolationsprinzip (flüssigkeits- und gasdicht) ist wünschenswert.

Die Formulierung wurde geändert: Die Durchlässigkeit des Versatzes reduziert sich während der Kompaktion kontinuierlich. Während die Durchlässigkeit des Versatzes anfänglich um einige Größenordnungen über der Durchlässigkeit des Salzgebirges liegt, werden sich die Werte langfristig an die Gebirgswerte annähern, so dass der Versatz dann nicht mehr durchströmbar ist.

RT: Das Abfließen der Korrosionsgase durch den unzureichend kompaktierten Versatz erscheint realistisch, aber noch nicht zu Ende gedacht, da die Gase irgendwo bleiben müssen. Eine Porositäts-Permeabilitäts-Beziehung für Salzgrus könnte auch als offene Frage angesprochen werden.

Der Text wurde wie folgt ergänzt:“… Dabei fließen die Fluide entsprechend der Druckgradienten in Bereiche mit Restporositäten ab. Gas wird durch Diffusion langfristig die Barrieren durchdringen.“
Das Kompaktionsverhalten von Salzgrus bei kleinen Porositäten wurde als Forschungsbedarf aufgeführt.

2.1.07.05 Nicht thermisch induzierte Volumenänderungen von Materialien

IT: Änderung der FEP-Nr.

FEP 2.1.07.02 Überlagerung der Nahfeldwirkungen einzelner Grubenbaue ist entfallen, daher Anpassung der FEP-Nr. (2.1.07.04).

IT: Definition geändert

Die Definition wurde wie folgt geändert: „Nicht thermisch induzierte Volumenänderungen entstehen durch mineralogische Umwandlungen (z.B. Anhydrit <> Gips), chemische Prozesse (z.B. Korrosion von Metallen) bzw. materialspezifische Eigenschaften bei Feuchtigkeitsaufnahme oder -abgabe (Quellen bzw. Schrumpfen).“

IT: Begründung eingefügt.

Es wurden Begründungen für die Einstufungen des FEP bezüglich der „Bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit“, der „Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren“ und der „Handhabung“ eingefügt.

IT: Änderung der Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren

Durch das Quellen des Bentonits und das Vergipsen von Anhydritlagen besteht eine direkte Einwirkung auf die Funktion der einschlusswirksamen Barrieren: "Strecken- und Schachtverschlüsse" sowie "Wirtsgestein"

IT: Änderung in der „Sachlage im betrachteten Endlagersystem“

Ergänzung: „Falls es während der Nachbetriebsphase zu Lösungskontakt mit den Anhydritschollen kommt, so könnte es zu Vergipsung mit einer starken Volumenvergrößerung kommen. Dies könnte zur Rissbildung im umgebenden Gebirge führen.“

IT: Änderung bei „Standortspezifische Auswirkungen“

Ergänzung: „Eine lokale Beeinträchtigung der Gebirgsintegrität durch Rissbildung könnte auch bei Vergipsungsprozessen in einer Anhydritscholle nach einem Lösungszutritt auftreten.“

RT: Die genannten Materialien sind mit Ausnahme des Bentonits nicht oder nur begrenzt quellfähig. Angaben zur Volumenbilanz fehlen.

Der Text wurde wie folgt geändert: Das Quellen von Bentonit ist wichtig für die Funktion der Dichtelemente in Schachtverschlüssen und wird daher in einem eigenen FEP beschrieben ("Quellen von Bentonit"). Die verschiedenen Baustoffe, die für Streckenverschlüsse sowie als Widerlager in Schachtverschlüssen eingesetzt werden, zeigen bei einer Durchströmung mit Lösungen ein geringes Quellvermögen. Keine relevanten Volumenänderungen ergeben sich bei Salzgrusversatz, Schotter (Basalt, Diabas) und Asphalt / Bitumen.

Der Abschnitt „Standortspezifische Auswirkungen“ wurde ergänzt: „Da bei der Normalentwicklung im Grubengebäude nur geringe Mengen Restfeuchtigkeit auftreten und bei einer Alternativentwicklung Art, Umfang und Zeitpunkt des Lösungszutritts ungewiss sind, ist keine Volumenbilanz bezüglich einer Volumenänderung durch das Quellen von Materialien im Endlager möglich.“

2.1.07.06 Rissbildung (ist entfallen)

IT: FEP ist entfallen.

Die verschiedenen Formen der Rissbildung werden in den FEPs 2.2.01.01 Auflockerungszone, 2.2.06.01 Spannungsänderung und Spannungsumlagerung, 2.2.10.03 Thermisch induzierte Spannungsänderungen im Wirtsgestein und 2.1.07.03 Fluiddruck behandelt. Das FEP ist daher entfallen.

RT: Die generelle Trennung der Begriffe Rissbildung und Auflockerungszone erscheint wenig plausibel. Die Rissbildung sollte systematisch differenziert werden in mechanisch, thermisch und hydraulisch induzierte Risse.

Die Anregungen des Review-Teams wurden aufgegriffen. In den oben genannten FEPs werden die unterschiedlichen Rissarten differenziert dargestellt.

2.1.07.07 Versagen eines Schacht- und Streckenverschlusses

IT: Änderung von FEP-Nr und FEP-Titel

Die FEPs 2.1.07.02 „Überlagerung der Nahfeldwirkungen einzelner Grubenbaue“ und 2.1.07.06 „Rissbildung“ sind entfallen, daher Anpassung der FEP-Nr. (2.1.07.05). Außerdem wurde der Titel wie folgt geändert: Versagen eines Schacht- oder Streckenverschlusses

IT: Begründung eingefügt.

Es wurden Begründungen für die Einstufungen des FEP bezüglich der „Bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit“, der „Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren“ und der „Handhabung“ eingefügt.

RT: Der Begriff thermischer Zwang sollte präzisiert werden. Es erscheint selbstverständlich, dass einwirkende Beanspruchungen … soweit bekannt … in der Dimensionierung berücksichtigt werden. Es werden noch erhebliche offene Fragen gesehen, die z.B. die physikalische Modellierung und Prozesssimulation einschließlich der Nachweisführung betreffen.

„Thermische Zwang“ wurde durch „thermomechanische Zugspannung“ ersetzt.

Einwirkungen, gegen die ein Bauwerk auslegt ist, müssen im folgenden Nachweis nicht weiter berücksichtigt werden.

Ergänzungen offene Punkte / Forschungsbedarf:
- Versagensmechanismen
- inhomogenes Fortschreiten einer Fluidfront ("piping"-Effekt) und resultierende inhomogene Entwicklung des Quelldrucks
- Anordnung von Elementen, welche ein gleichmäßiges Fortschreiten der Sättigungsfront ermöglichen (Äquipotentialsegmente)
- Kompaktion und damit gekoppelte Entwicklung der hydraulischen Parameter des Langzeitdichtelementes
- Eignung von SVV- oder AISKRISTALL-Material
- Langzeitstabilität der Widerlagerbaustoffe bzw. ggf. eingesetzter Dichtmaterialien (z.B. Asphalt und Bitumen)
- mathematische Beschreibbarkeit der Auflockerungszone
- Quantifizierung der Parameter Permeabilität und Porosität in einer Auflockerungszone in Abhängigkeit vom Schädigungsgrad

2.1.07.08 Lageverschiebung eines Schachtverschlusses

IT: Änderung der FEP-Nr

Die FEPs 2.1.07.02 „Überlagerung der Nahfeldwirkungen einzelner Grubenbaue“ und 2.1.07.06 „Rissbildung“ sind entfallen, daher Anpassung der FEP-Nr. (2.1.07.06).

IT: Begründung eingefügt.

Es wurden Begründungen für die Einstufungen des FEP bezüglich der „Bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit“, der „Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren“ und der „Handhabung“ eingefügt.

IT: „Sachlage im betrachteten Endlagersystem“ geändert

Hinweis auf Lageverschiebung des Schachtverschlusses durch Auslaugungen im Salzgebirge ergänzt.

IT: „Standortspezifische Auswirkungen“ geändert

Hinweis auf Lageverschiebung des Schachtverschlusses durch Auslaugungen im Salzgebirge ergänzt.

IT: „Zeitliche Beschränkung“ geändert

Hinweis auf Lageverschiebung des Schachtverschlusses durch Auslaugungen im Salzgebirge ergänzt.

IT: „Direkte Abhängigkeiten“ geändert

Beeinflussende FEPs: „Lösungszutritt in Grubenbaue“ ergänzt
Beeinflusste FEPs: „Rissbildung“ entfällt, „Spannungsänderung und Spannungsumlagerung“ ergänzt.

RT: Der neu eingeführte Begriff „Gründungsbauwerk“ sollte ersetzt werden. Aufsteigende Lösungen und Folgewirkungen finden keine Beachtung. Auch alternative Lösungen sollen nicht unerwähnt bleiben (Salzgrus statt Schottersäule) Die Nicht-Benennung von Forschungsbedarf erscheint nicht nachvollziehbar.

„Gründungsbauwerk“ wird durch „Schachtfundament“ ersetzt.

Im Abschnitt „Allgemeine Informationen“ 2. Absatz wurde der folgende Satz eingefügt: „Ein oberes und ein unteres Widerlager halten die Dichtelemente gegen Fluiddrucke von unten oder oben lagestabil in ihrer Position.“

Im Abschnitt „Sachlage“ wurde ein Hinweis auf eine alternative Schachtverfüllung aus Salzgrus ergänzt.

Unter „offene Punkte / Forschungsbedarf wurden die folgenden Punkte aufgenommen:

- Übertragbarkeit der Ergebnisse des FuE-Projektes Schachtverschluss Salzdetfurth auf die Randbedingungen eines Endlagerschachtverschlusses
- Ausbildung, Größe und Parametrisierung der Auflockerungszone

2.1.07.09 Absinken der Abfallbehälter (ist entfallen)

IT: FEP ist entfallen

Das FEP wird inhaltlich durch das FEP 3.2.08.01 „Feststoffgebundener Radionuklidtransport“ abgedeckt. Die Beschreibungen wurden daher in das genannte FEP übernommen, so dass das FEP entfallen kann.

RT: Sinken die Abfallgebinde wegen ihrer größeren Wichte ab ? Die Abgrenzung zwischen Abfallbehälter und Abfall- bzw. Endlagergebinde bleibt unklar und sollte definiert werden. Das WIPP-Zitat erscheint an dieser Stelle unzutreffend.

Die korrekte Bezeichnung ist „Wichte“ und wurde in die entsprechende Beschreibung des FEP „Feststoffgebundener Radionuklidtransport“ übernommen.
Es sind „Abfallgebinde“ (= mit Abfall gefüllte Abfallbehälter) gemeint. Dies ist in die entsprechende Beschreibung des FEP „Feststoffgebundener Radionuklidtransport“ übernommen worden.

Das WIPP-Zitat passt, da an der WIPP-Site auch Forschungsarbeiten für die Einlagerung von hoch radioaktiven Abfällen durchgeführt wurden.

2.1.08.01 Porosität

RT: Der Aussage: „Im Hauptsalz sind keine effektiven Porositäten außerhalb von Gas- und Lösungsvorkommen zu erwarten“ ist zuzustimmen; sie steht allerdings im Gegensatz zu der Aussage auf S. 280 unter FEP 2.1.07.04.

Die Aussage wurde in dem angesprochenen FEP 2.1.07.04 „Versatzkompaktion“ entsprechend geändert.

RT: Die Fluiddruck-induzierte Infiltration sollte als Forschungsgegenstand benannt werden.

Auf die sich bildende Sekundärpermeabilität im Steinsalz wurde im FEP eingegangen und zusätzlich auf das neue FEP „Gasinfiltration im Salzgestein“ verwiesen.

IT: Überarbeitung der „Standortspezifische Auswirkungen“.

Der Aspekt der effektiven Restporosität in versetzten Strecken wurde ergänzt.

IT: Änderung der Einwirkung auf einschlusswirksame Barrieren von „nicht zutreffend“ auf „indirekt“.

Indirekte Beeinflussung geht über mehrere Ebenen, insofern ist bei Porosität eine indirekte Einwirkung zu wählen. Eine entsprechende Erläuterung wurde in der Präambel ergänzt.

2.1.08.02 Permeabilität

RT: Die Ausführungen unter dem Punkt „Sachlage“ sollten auch das Wirtsgestein einschließen.

Es wurden entsprechende Passagen zum Wirtsgestein und den aufgelockerten Bereichen im Wirtsgestein bei „Sachlage am Referenzstandort“ ergänzt.

RT: Hinsichtlich des Feldes „Beeinflussende FEPs“ sollte geprüft werden, welche hydraulischen Vorgänge die Permeabilität beeinflussen können.

Bei den direkt beeinflussenden FEPs „fehlen“ einige FEPs, da hier angenommen wird, dass diese FEPs indirekt über das FEP Porosität wirken. Dies ist bei einigen Prozessen mit Sicherheit eine Vereinfachung der wirklich vorhandenen Abhängigkeiten, soll aber aus Gründen der Übersichtlichkeit so weitergeführt werden. Diese Vereinfachung wurde im neuen FEP-Katalog vermerkt.

IT: Allgemeine Informationen und Beispiele wurden überarbeitet.

Auf der Grundlage genereller Anmerkungen des Reviewteams zur Durchlässigkeit / Undurchlässigkeit einzelner Teilsysteme des Endlagersystems wurden die „Allgemeinen Informationen und Beispiele“ überarbeitet.

IT: Standortspezifische Auswirkungen wurden überarbeitet.

Auf der Grundlage genereller Anmerkungen des Reviewteams zur Durchlässigkeit/Undurchlässigkeit einzelner Teilsysteme des Endlagersystems wurden die „Standortspezifischen Auswirkungen“ überarbeitet.

IT: Begründung für die Betrachtung der Permeabilität im Wirtsgestein eingefügt.

Anhydritschollen im Wirtsgestein sind z.T. permeabel, daher muss auch in einigen Bereichen im Wirtsgestein die Permeabilität als Merkmal berücksichtigt werden. Insgesamt ist das Wirtsgestein aber hydraulisch nicht durchlässig. Dieser Aspekt wurde bei „Sachlage am Referenzstandort“ ergänzt.

IT: Die Literaturangaben wurden ergänzt.

Die in der Zwischenzeit veröffentlichten Berichte, insbesondere die Geologischen Jahrbücher zu Gorleben (KLINGE et al. 2007, KÖTHE et al. 2007 und BORNEMANN al. 2008), wurden aufgenommen. Ziel ist es, möglichst Berichte zu verwenden, die veröffentlicht sind.

Änderung der Einwirkung auf einschlusswirksame Barrieren von „nicht zutreffend“ auf „indirekt“.

Indirekte Beeinflussung geht über mehrere Ebenen, insofern ist bei Porosität eine indirekte Einwirkung zu wählen. Eine entsprechende Erläuterung wurde in der Präambel ergänzt.

2.1.08.03 Lösungen im Grubenbau

RT: Durch die Einlagerungsbedingungen sollte festgelegt sein, dass keine Flüssigkeiten ins Endlager gelangen.

Die Aussage wird nur allgemein in der Definition verwendet. Bei der Beschreibung der Sachlage am Referenzstandort wird darauf hingewiesen, dass mit den verwendeten Gebinden keine nennenswerte Feuchtigkeitsmenge ins Endlager gelangt.

RT: Die Literaturangaben sollten überarbeitet werden.

Die in der Zwischenzeit veröffentlichten Berichte, z.B. Geologischen Jahrbücher zu Gorleben (BORNEMANN et al. 2008), wurden aufgenommen.

IT: Diapirismus wurde als beeinflussendes FEP entfernt.

Diapirismus hat Einfluss auf die Lösungen im Grubenbau gehabt, da dieser Prozess zu dem sehr geringen Feuchtegehalt im Hauptsalz geführt hat. Dieser Aspekt wurde bei der Sachlage am Referenzstandort ergänzt. Auf zukünftige Entwicklung hat das aber keine Auswirkungen und ist deshalb nicht als beeinflussendes FEP zu betrachten.

IT: Die Definition wurde geändert: Lösungsmengen aus Abfallgebinden wurde entfernt, Luftfeuchte aufgenommen.

Neue Definition: Unter Lösungen im Grubenbau sind wässrige Lösungen zu verstehen, die überwiegend aus der Versatzfeuchte, der Luftfeuchte oder aus einem Zutritt aus dem Wirtsgestein und dem Deckgebirge stammen.

IT: Das FEP „Lösungen im Grubenbau“ ist gemäß der Definition nur im Nahfeld und den übrigen Strecken und Schächten zu betrachten.

Die Handhabung wurde entsprechend geändert.

2.1.08.04 Umläufigkeiten (ist entfallen)

IT: FEP ist entfallen

Umläufigkeiten im Bereich der Auflockerungszone werden in dem entsprechenden FEP (2.2.01.01) beschrieben. Unvorhergesehene Umläufigkeiten durch Klüfte und Störungen in Salinargesteinen werden in den FEPs 2.2.02.02 Klüfte im Wirtsgestein, 2.2.04.01 Störungen und Störungszonen, 2.2.12.01 Unerkannte Merkmale und 2.2.12.02 Fehlinterpretierte Erkundungsergebnisse behandelt. Das FEP „Umläufigkeiten“ kann daher entfallen.

RT: Die geschilderten Sachlagen werden eher weniger mit dem Begriff Umläufigkeiten verbunden. Die grundsätzliche Trennung aller Anhydritschollen erscheint zweifelhaft, außerdem nachweispflichtig. Bislang lag der Schwerpunkt eher darauf, einen hinreichenden Abstand zu den Anhydritschollen zu belassen.

Die Inhalte des FEP „Umläufigkeiten“ sind z.T. im FEP 2.2.02.02 „Klüfte im Wirtsgestein“ (= neuer Name: Klüfte im Salzgestein) aufgenommen worden.
Das FEP „Klüfte im Salzgestein“ geht auf die zerblockte Struktur der Anhydritbänder ein. Die ist für den Bereich des Endlagers am Salzstock Gorleben (also Sachlage am Referenzstandort) nachgewiesen. Für andere Salzformationen muss diese Zerblockung ggf. belegt werden. Ein entsprechender Hinweis wird zu „Allgemeine Informationen und Beispiele“ noch ergänzt. Die Zerblockung einer spröden Struktur in einer plastischen Matrix ist bei den herrschenden Spannungsverhältnissen, die beim Aufstieg einer Salzformation gegeben sind, aber eher die Regel als die Ausnahme.

RT: Außerdem könnten die salinaren Zwischenlagen bei entsprechenden Fluiddrücken und hinreichend herabgesetzten Gebirgsspannungen infiltriert werden. Hier wird in dem Postulat der getrennten Anhydritschollen keine vorteilhafte Strategie bezüglich des Langzeitsicherheitsnachweises gesehen.

Das Postulat der isolierten Anhydritschollen stützt sich auf die Untersuchungen der BGR (BORNEMANN et al. 2008). Danach ist die Südostflanke des Salzstockes Gorleben zerblockt und die einzelnen Blöcke sind von den umgebenden Salzgesteinen umflossen und so gegeneinander abgeschirmt, dass keine weitreichenden Verbindungen der Kluftnetze einzelner Blöcke untereinander möglich sind. Dieser Befund wird im FEP-Katalog als Stand der Wissenschaft angesehen und dementsprechend beschrieben. Der Befund gilt natürlich nur für den untersuchten Bereich des Standortes.

2.1.08.05 Kanalisierung

IT: Änderung der FEP-Nummern und Aufteilung in zwei FEPs

Das FEP 2.1.08.04 „Umläufigkeiten“ ist entfallen, daher wurden die FEP-Nr. angepasst (2.1.08.04 und 2.1.08.05). Das FEP wurde in die zwei FEPs „Kanalisierung im Versatz“ und „Kanalisierung in Dichtelementen“ aufgeteilt

IT: Änderung der FEP-Beschreibungen

Das FEP „Kanalisierung im Versatz“ basiert i.w. auf dem alten FEP „Kanalisierung“ und bezieht sich nur auf Kanalisierungseffekte im Versatz. Dadurch ändern sich folgende Angaben:
- Die Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren wird auf „nicht zutreffend“ gesetzt, da eine Beeinflussung auf die Verschlussbauwerke nicht mehr gegeben ist.
- Die beeinflussenden FEP Verschlussmaterial, Alteration von Strecken- und Schachtverschlüssen und Fehlerhaftes Erstellen eines Strecken- oder Schachtverschlusses sind nicht mehr beeinflussend.

Ein entsprechender Hinweis zur Abgrenzung gegen das FEP „Kanalisierung in Dichtelementen“ wurde ergänzt.

Das FEP „Kanalisierung in Dichtelementen“ beschreibt Kanalisierungsprozesse (Piping) in den Dichtelementen geotechnischer Barrieren. Alle Beschreibungen wurden dementsprechend neu formuliert.

2.1.08.06 Durchströmung von Versatz und technischen Barrieren

IT: Das FEP hat eine neue FEP-Nr. (2.1.08.07)und einen neuen Namen: „Strömungsvorgänge im Grubengebäude“

Das FEP soll allgemein die Strömungsprozesse im Grubengebäude behandeln, damit entfällt auch die Diskussion über Begriff im Titel wie z.B. technische, geotechnische Barrieren. Die Beschreibungen und Abhängigkeiten wurden dementsprechend angepasst. Die Abhängigkeiten werden jetzt so aufgefasst, dass das FEP „Lösungszutritt ins Grubengebäude“ ein auslösendes FEP für dieses FEP ist. Da ein Lösungszutritt vorher erfolgt, werden die Nummern der beiden FEPs im FEP-Katalog vertauscht.

RT: Es sollte „geotechnische Barrieren“ statt „technische Barrieren“ heißen.

Das FEP wurde entsprechend dem Vorschlag umbenannt.

RT: Das unter „Sachlage“ geschilderte Verschlusskonzept für die Normalentwicklung ist ohne weitere Erläuterungen nicht verständlich.

Die Formulierung „Der Schachtverschluss ist gegen die zu erwartenden Strömungskräfte ausgelegt“ wurde entfernt, da eine Diskussion des Verschlusskonzeptes an dieser Stelle nicht dem Verständnis der Sachlage dient.

2.1.08.07 Lösungszutritt in Grubenbaue

IT: Änderung der FEP-Nr, des Titels und der Beschreibungen

Das FEP 2.1.08.04 „Umläufigkeiten“ ist entfallen, daher wurde die FEP-Nr. angepasst (2.1.08.06). Das FEP wurde umbenannt in „Lösungszutritt ins Grubengebäude“

Die Beschreibungen und Abhängigkeiten wurden dem etwas geänderten Namen angepasst. Inhaltlich hat das keine Auswirkungen auf die FEP-Beschreibungen. Die Abhängigkeiten werden jetzt so aufgefasst, dass das FEP „Lösungszutritt ins Grubengebäude“ ein auslösendes FEP für das FEP „Strömungsvorgänge im Grubengebäude“ ist. Da ein Lösungszutritt vorher erfolgt, werden die Nummern der beiden FEPs im FEP-Katalog vertauscht.

RT: Es sollte dargestellt werden, welche gestörten Abläufe der Endlagerentwicklung zu betrachten sind und welche Wahrscheinlichkeit sie im Verhältnis zur ungestörten Entwicklung haben.

Der FEP-Katalog bildet die Grundlage der Szenarienentwicklung, kann damit ihr Ergebnis nicht vorwegnehmen. Welche gestörten Entwicklungen zu betrachten sind und welche Wahrscheinlichkeiten ihnen zuzuweisen sind, kann daher nicht Gegenstand des FEP-Kataloges sein. Dennoch ist es natürlich wichtig, im FEP-Katalog darzustellen, wie sich die –

dem gegenwärtigen Stand der Wissenschaft entsprechend – erwartete (normale, ungestörte, wahrscheinliche) Entwicklung darstellt und welche Konsequenzen abweichende Entwicklungen hätten.

RT: Die Zuordnung zu „wahrscheinlich“ ist nicht verständlich vor dem Hintergrund des Isolationsprinzips.

Ein Lösungszutritt zu einem (beliebigen) Grubenbau ist als wahrscheinlich zu betrachten, da zumindest in die Grubenbaue nahe am Schachtverschluss im Laufe des zu betrachtenden Zeitraumes geringe Lösungsmengen zulaufen werden. Das bedeutet nicht, dass ein Lösungszutritt zu den Einlagerungsbereichen wahrscheinlich ist. Um dies besser zu verdeutlichen, wurde diese Argumentation in die FEP-Beschreibung aufgenommen.
Der Ausdruck „Durch die Abfolge nicht planmäßig verlaufender Ereignisse ...“ wurde aus der Definition entfernt und diese überarbeitet.

RT: Außerdem ist die Belastbarkeit der Aussage, dass durchgehende Hauptanhydritbänder nicht zu berücksichtigen sind, zu begründen. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund der in den FEPs 2.2.12.01 und 2.2.12.02 angesprochenen Unsicherheiten und dem Sachverhalt, dass der Standort untertägig nicht vollständig erkundet ist (FEP 1.1.01.01).

Das Postulat der isolierten Anhydritschollen stützt sich auf die Untersuchungen der BGR (BORNEMANN et al. 2008). Danach ist die Südostflanke des Salzstockes Gorleben zerblockt und die einzelnen Blöcke sind von den umgebenden Salzgesteinen umflossen und so gegeneinander abgeschirmt, dass keine weitreichenden Verbindungen der Kluftnetze einzelner Blöcke untereinander möglich sind. Dieser Befund wird im FEP-Katalog als Stand der Wissenschaft angesehen und dementsprechend beschrieben. Der Befund gilt natürlich nur für den untersuchten Bereich des Standortes. Diese Begründung wird im FEP-Katalog besser deutlich gemacht. In der überarbeiteten Version kann jetzt auf eine der Allgemeinheit zugängliche Veröffentlichung (BORNEMANN et al. 2008) hingewiesen werden.

RT: Es erscheint wenig plausibel, dass bei vorhandenen Wegsamkeiten, vorhandenen Fluiden und der Konvergenz Freisetzungen nur potentiell erfolgen.

Die erwartete Entwicklung geht von Folgendem aus:

- keine Wegsamkeiten im unverritzten Wirtsgestein,
- keine nennenswerten Lösungsmengen in der Nähe der Einlagerungsbereiche,
- die Verschlussbauwerke und die Konvergenz erhöhen den Strömungswiderstand im Grubengebäude derart, dass die von außen anstehenden Grundwässer nicht zu den Abfällen vordringen können.

Das erscheint den Autoren des Kataloges durchaus als plausible wahrscheinliche Entwicklung. Eine alternative Entwicklung tritt dann ein, wenn (eine) diese(r) Prämissen nicht eingehalten wird. Diese Entwicklungen müssen natürlich bei der Szenarienentwicklung berücksichtigt werden.

2.1.08.08 Quellen des Bentonits

IT: Änderung der FEP-Nr

Das FEP 2.1.08.04 „Umläufigkeiten“ ist entfallen, daher Anpassung der FEP-Nr. (2.1.08.07).

IT: Begründung eingefügt.

Es wurden Begründungen für die Einstufungen des FEP bezüglich der „Bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit“, der „Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren“ und der „Handhabung“ eingefügt.

IT: Änderung „Direkte Einwirkung auf die Funktion folgender einschlusswirksamer Barrieren“

„Wirtsgestein“ ist entfallen, da durch das FEP „Quellen des Bentonits“ nur indirekt über "Spannungsänderung und Spannungsumlagerung" auf das Wirtsgestein eingewirkt wird.

RT: Es ist unklar, was Permafrostbedingungen mit der Wirksamkeit von Bentonit zu tun haben. Dies kann nur dann wichtig werden, wenn Bentonit im obersten Bereich des Schachtverschlusses eingesetzt wird. Es fehlen Angaben zur ungleichmäßigen Aufsättigung von Bentonit, welche zu unerwünschten Spannungen führen.

Permafrost beeinflusst die Grundwasserverhältnisse, die sich auf den Bentonit im Schachtverschluss auswirken können.

Die Quelldruckentwicklung des Bentonits und das Problem der gleichmäßigen Aufsättigung werden unter „Standortspezifische Auswirkungen“ beschrieben. Es wurden Literaturzitate eingefügt.

Gemäß AP 5-Bericht wurden folgende „offene Punkte / Forschungsbedarf“ eingefügt:
- Kompaktion und Konturanbindung
- Einbaufeuchte

2.1.08.09 Sonstige hydraulische Prozesse im Endlager (ist entfallen)

IT: FEP ist entfallen.

Das FEP wurde auf Grund der Diskussionen im Review aus dem FEP-Katalog gestrichen. Solange keinen weiteren hydraulischen Prozesse im Endlager vorstellbar sind, ist das FEP nicht zielführend. Sollte ein weiterer Prozess identifiziert werden, muss er in den FEP-Katalog aufgenommen werden, ggf. als eigenständiges FEP.

2.1.09.01 Geochemisches Milieu im Grubenbau

RT: Zunächst wird das geochemische Milieu durch das Wirtsgestein bestimmt. Die Abfälle bewirken lediglich eine (geringe) Störung.

Die „Allgemeinen Informationen und Beispiele“ wurden neu erstellt. Grundlage bilden Aussagen aus /ALT 04/. Die Sachlage und die Auswirkungen am Standort wurden angepasst, u.a. ein Hinweis auf die Empfehlungen des HAW-Arbeitskreises /KIN 01/.

RT: Die Literaturangaben bedürfen der Überarbeitung.

Die beiden genannten Zitate wurden ergänzt.

IT: Es wurden Hinweise zu „Offene Fragen und Forschungsbedarf“ aufgenommen.

Die Frage der Entwicklung des geochemischen Milieus zutretender Lösungen und damit des geochemischen Milieus im Grubengebäude für späte Zeitpunkte wurde aufgenommen. Ein Hinweis auf Aspekte, die im engen Zusammenhang mit dem geochemischen Milieu stehen (Auflösung, Sorption, Komplexe) wurde ergänzt.

2.1.09.02 Auflösung und Ausfällung

RT: Das Wirtsgestein Steinsalz unterliegt der Auflösung und Ausfällung. Auch in einer gesättigten Lösung finden Lösungs- und Ausfällungsprozesse fortlaufend statt.

Der entsprechende Aspekt wurde bei „Sachlage am Referenzstandort“ ergänzt.

RT: Subrosion stellt nur einen Teil der möglichen Vorgänge dar, auch Spannungsfelder können zu Auflösung und Ausfällung führen.

Der Einfluss von Spannungsfeldern (allgemein die Druckabhängigkeit von Lösungs-Fällungs-Reaktionen) wurde aufgenommen. Es besteht eine indirekte Abhängigkeit zwischen Spannung (über Druck) und Auflösungsprozessen.

RT: Das Wirtsgestein wird hier überhaupt nicht angesprochen.

Das Wirtsgestein wird in die Beschreibung mit aufgenommen (s.u.).

RT: Über die Entwicklung und das Langzeitverhalten eines lösungsgefüllten Hohlraums im Steinsalz im Temperaturfeld der wärmeproduzierenden Abfälle ist wenig bekannt, daher gibt es hierzu F+E Bedarf.

Der Forschungsbedarf wurde aufgenommen.

RT: Die Literaturangaben bedürfen der Überarbeitung.

Die Literatur wurde überarbeitet.

IT: Eine Neustrukturierung der FEP-Beschreibungen wurde vorgenommen.

Auf Grund der Anmerkungen im Review wurden die Beschreibungen des FEPs (Allgemeine Informationen und Beispiele, Sachlage am Referenzstandort und Standortspezifische Auswirkungen) neu strukturiert, um besser auf die unterschiedlichen Teilsysteme eingehen zu können. Dieses FEP beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit Auflösungs- und Ausfällungsprozessen der geologischen (Wirtsgestein + Versatz) und geotechnischen (Verschlussbauwerke) Barrieren.

2.1.09.03 Metallkorrosion

IT: Die Definition wurde ergänzt.

Die Metallkorrosion im FEP-Katalog wird durch einen zusätzlichen Satz in der Definition auf Korrosionsprozesse in Gegenwart von Wasser eingeschränkt.

RT: Steinsalz hat keine reduzierenden Eigenschaften. Reduzierende Bedingungen werden erst durch die Anwesenheit redoxbestimmender Spezies erzeugt. Dies kann durch H2-Entwicklung bei der Korrosion von Al oder Stahl geschehen oder durch die Anwesenheit von gelöstem Fe(II) und Fe(III). Darüber hinaus kann das Redoxsystem durch andere Spezies aus dem natürlichen System beeinflusst (oder gebildet) werden. Diese können unter anderem auch HS-/$SO_4$2- oder CH_4/CO_2 sein. Über deren Gleichgewichtskinetik ist wenig bekannt. Gleichgewichte bei den letztgenannten stellen sich i.A. nur bei Anwesenheit von Mikroorganismen ein.

Die Sachlage am Referenzstandort wurde überarbeitet, die entsprechenden Passagen dabei korrigiert. Das Problem der Gleichgewichtskinetik von Redoxprozessen wurde zu Forschungsbedarf aufgenommen.

RT: Es ist nicht möglich alle (elektro-) chemischen Korrosionsprozesse mit wahrscheinlich und abhängig von FEPs zu charakterisieren. Die verfügbare Literatur ist sehr umfangreich und die Angaben bedürfen der Überarbeitung.

Mit diesem FEP ist die Gesamtheit aller Korrosionsprozesse gemeint. Mit der bedingten Wahrscheinlichkeit soll aber nicht ausgesagt werden, dass alle möglichen Korrosionsprozesse gleichzeitig ablaufen sollen. Ein entsprechender Erklärung wurde zu „Allgemeine Informationen und Beispiele“ hinzugefügt. Die Literatur wurde überarbeitet (vor allem Verweis auf KAESCHE (1990)).

Die „Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren“ wurde auf „nicht zutreffend“ gesetzt.

Der Behälter wird in der neuen Version des FEP-Kataloges nicht mehr als einschlusswirksame Barriere gesehen.

2.1.09.04 Matrixkorrosion

RT: Unter dem Begriff Korrosion versteht man i.A. nicht die Wechselwirkung der Matrix mit Zerfallsprodukten, ohne dass Lösungen anwesend sind.

Der entsprechende Textteil unter „Allgemeine Informationen und Beispiele“ wurde entfernt.

RT: Eine Darstellung des Einflusses des Sauerstoffpartialdrucks bzw. Redoxbedingungen bei der Korrosion von abgebranntem Kernbrennstoff fehlt.

Die Sachlage am Referenzstandort wurde überarbeitet und die entsprechenden Aspekte ergänzt.

IT: Bei der Überarbeitung wurde darauf geachtet, eine bessere Übereinstimmung mit dem FEP Radionuklidmobilisierung zu erreichen.

Die Matrixkorrosion ist ein wesentlicher Prozess der Radionuklid-Mobilsierung. Es wurde daher versucht eine bessere Abgrenzung zu erreichen bzw. bei Überschneidungen der Erläuterungen entsprechende Hinweise hinzuzufügen (siehe auch Diskussion Radionuklid-Mobilisierung / Radionuklid-Quellterm).

IT: Das FEP „Metallkorrosion“ wurde durch das FEP „Behälterausfall“ als auslösendes FEP ersetzt.

Durch die Aufnahme des FEP „Behälterausfall“ ist dieses jetzt das direkt auslösende FEP für das FEP „Matrixkorrosion“. Die Metallkorrosion wirkt nur noch indirekt.

2.1.09.05 Materialversprödung durch Wasserstoffaufnahme (Neues FEP)

IT: Neu angelegtes FEP.

Das FEP wurde auf Grund der Anmerkungen im Review zu FEP „Materialversprödung durch Strahlung“ (2.1.13.02) im FEP-Katalog aufgenommen.

2.1.10.01 Zersetzung von Organika

RT: Es wird $C_6H_{10}O_5$ genannt, nicht aber PE und PVC.

Die angegebene Formel sollte als Beispiel dienen und ist in der Tat irreführend. Sie wurde deshalb entfernt. Prinzipiell soll in der neuen Version des FEP-Kataloges auf Formeln verzichtet werden und stattdessen entsprechende Literaturstellen (z.B. Lehrbücher) zitiert werden. PVC und PE sind bei „Sachlage am Referenzstandort“ genannt.

IT: Der Einfluss auf die bitumenhaltigen Baustoffe der Verschlussbauwerke fehlt.

Da in den Verschlussbauwerken Bitumen oder Asphalt als Baustoff oder Dichtungsmittel eingesetzt werden kann, muss der Einfluss dieses FEP auf die Verschlussbauwerke berücksichtigt werden:
- Die „Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren“ wurde auf „direkt“ gesetzt
- Einfluss auf „Schacht- und Streckenverschlüsse“
- Neue Beeinflusste FEPs: „Versagen eines Strecken- oder Schachtverschlusses“, „Alteration von Strecken- oder Schachtverschlüssen“

2.1.10.02 Mikrobielle Prozesse im Grubengebäude

RT: Zu nennen wären Sulfatreduzierer, die Anhydrit in Sulfid umsetzen. Diese Gruppe wird jedoch nicht genannt. Diese Reaktion hätte wesentlichen Einfluss auf zahlreiche Prozesse im Grubengebäude und auf die Redoxbedingungen.

Der Aspekt der Sulfatreduktion wurde bei „Sachlage“ ergänzt. Desweiteren wurden zur besseren Erläuterung die generell wichtigen mikrobiellen Prozesse und ihre Abhängigkeit vom Redoxpotential bei „Allgemeine Informationen und Beispiele“ ergänzt.

IT: Der Hinweis auf Transportprozesse wurde im gesamten FEP entfernt.

Der Transport von Radionukliden ist nach der Diskussion im Review als irrelevant eingestuft worden und fehlt somit im FEP „Sonstige Transportprozesse“. Daher wurden in diesem FEP auch die Verweise auf dieses FEP entfernt.

IT: Literatur wurde hinzugefügt.

In der ersten Version des FEP-Kataloges fehlten Literaturabgaben. In der neuen Version des FEP-Kataloges wurde dies behoben.

2.1.11.01 Wärmeproduktion

RT: Es sollten Temperaturlimitierungen angegeben werden: 200°C am Salz und die Limitierung der Zentraltemperatur von Glas.

Die „Sachlage am Referenzstandort“ wurde um die entsprechenden Angaben ergänzt.

RT: Es erhebt sich die Frage, warum die Temperatur nicht als FEP behandelt wird.

Die Temperatur ist eine grundlegende Größe, die auf viele FEPs einwirkt. Das Wissen über diese Größe ist in vielen Lehrbüchern beschrieben, unter anderem auch bezüglich des geothermischen Gradienten oder der Wärmeleitfähigkeit von Materialien. Alle diese Größen sind mit Ungewissheiten behaftet, die an entsprechender Stelle berücksichtigt werden müssen. Trotzdem wird die Temperatur aus folgendem Grund nicht als eigenständiges FEP behandelt:
Bei der Beschreibung der Entwicklung eines Endlagersystems interessieren vor allem die Temperaturänderungen und weniger die absoluten Werte der Temperatur. Dies ist analog zum primären Spannungszustand die Änderung des primären Spannungszustandes. Da es auch Ziel eines transparenten FEP-Kataloges sein muss, den Informationsgehalt übersichtlich zu halten, wurde auf diese grundlegenden FEPs (Temperatur und Spannungszustand) verzichtet. In Analogie zu dem FEP „Spannungsumlagerung und Spannungsänderung“ wäre ein FEP „Temperaturänderung“ möglich. Nach Ansicht der Autoren ist jedoch in einem Endlagersystem die Wärmeproduktion in diesem Zusammenhang – als Auslöser einer Temperaturänderung der entscheidende Prozess und sollte daher als FEP auftauchen. Des weiteren müssten in einem FEP „Temperaturänderung“ die Wärmeproduktion und Einwirkungen der Eiszeiten in einem FEP behandeln werden, obwohl diese zu sehr unterschiedlichen Zeitpunkten in der Entwicklung des Endlagersystems ablaufen.
Das FEP „Wärmeproduktion“ wird die hier dargestellte Begründung aufnehmen, damit das Fehlen des FEP „Temperatur(änderung)“ nachvollziehbar ist.

RT: Die Aussage: "Signifikante Temperaturerhöhung über einige tausend Jahre" ist nicht korrekt.

Die entsprechende Passage wurde korrigiert: Signifikant sind die Temperaturerhöhungen nur in den ersten Hunderten von Jahren, nach ungefähr 1000 Jahren fallen die Temperaturen schnell wieder auf die Ausgangstemperatur zurück.

IT: Wärmeproduktion hat im Prinzip keine zeitliche Beschränkung, der wesentliche Prozess, der radioaktive Zerfall, schon.

Die „zeitliche Beschränkung“ wurde entsprechend angepasst.

2.1.11.02 Thermische Expansion und Kontraktion

IT: Änderung des FEP-Titels

Der Titel wurde wie folgt geändert: Thermische Expansion **oder** Kontraktion

IT: Begründung für Eintrittswahrscheinlichkeit und Einwirkung auf ewB eingefügt.

Die thermische Expansion und Kontraktion gehört zu den stoffspezifischen Eigenschaften und wird daher "wahrscheinlich" eintreten. Der FEP wirkt nur indirekt, z.B. über "Spannungsänderung und Spannungsumlagerung", auf die einschlusswirksamen Barrieren ein. Bei der Handhabung ist das FEP in den Teilsystemen "Nahfeld", "Strecken und Schächte" und "Wirtsgestein" zu berücksichtigen. Temperaturänderungen im Deck- und Nebengebirge sind sicherheitstechnisch nicht relevant.

IT: Änderung „Direkte Abhängigkeiten“

Beeinflusste FEPs: „Zündfähige Gemische“ und „Wirtsgestein“ wurden gestrichen.

RT: Die für den Salzspiegelbereich geschilderten kompressiven Zustände in der Abkühlungsphase und zughaften Entlastungen während der Ausdehnung (gemeint ist wohl die Erwärmungsphase) sollten belegt werden.

Überarbeitung des Punktes „standortspezifische Auswirkungen“ incl. Ergänzung eines Literaturzitates:

Durch Einlagerung wärmeentwickelnder Abfälle und die resultierende Aufheizung des umgebenden Gebirges kommt es zur thermischen Expansion bzw. bei einer späteren Abkühlung zur Kontraktion der Gesteine. Dadurch werden Verformungen und Spannungsänderungen in das Gebirge eingetragen, die sich auch auf alle technischen Barrieren im Einflussbereich auswirken (NIPP & HEUSERMAN 2000). In der Folge kommt es zu Wechselwirkungen zwischen den Behältern, dem Gebirge und den geotechnischen Barrieren. Die Spannungsänderungen können Wegsamkeiten schaffen oder verschließen. Die mechanischen Auswirkungen im Wirtsgestein werden im FEP "Thermisch bedingte Spannungsänderungen im Wirtsgestein" dargestellt.

Die Aufheizung des Gebirges durch die wärmeentwickelnden Abfälle sowie die resultierenden Zugspannungen breiten sich im Salzstock bis zum Salzspiel aus. Sinken die Temperaturen aufgrund des fortschreitenden radioaktiven Zerfalls später wieder ab, so kommt es in größeren Teufenlagen zur Gesteinskontraktion (NIPP & HEUSERMAN 2000). Dadurch stellen sich am Salzspiegel kompressive Verhältnisse ein.

Die Abkühlung infolge einer Eiszeit wirkt sich nur im Deckgebirge sowie in den obersten Teilen des Salzstocks aus. Hier können infolge der Abkühlung Kontraktionsrisse ("Frostrisse") entstehen. Die Abkühlung wirkt sich auch auf die oberen Bereiche des Schachtes aus und kann dann auch den Schachtverschluss betreffen. Da eine Eiszeit mit tief reichender Abkühlung des Gebirge erst zu späten Zeiten (> 50.000 Jahre) zu erwarten ist und zu diesem Zeitpunkt keine Anforderungen mehr an die Standsicherheit der Schachtverschlüsse bestehen, haben die beschriebenen Prozesse keine Auswirkungen auf den sicheren Einschluss der Radionuklide.

2.1.12.03 Gasvolumen

RT: Der Einfluss der Erkundungssohle auf das Gasvolumen bleibt unklar.

Die Erkundungssohle ist in der gegebenen Version des FEP-Kataloges als eigenes FEP aufgeführt und liefert insofern einen Beitrag zu dem Volumen, das unter den herrschenden Bedingungen von der Gasphase eingenommen wird. In der neuen Version des FEP-Kataloges ist die Erkundungssohle nicht mehr als eigenständiges FEP vorhanden. Die etwas irritierende Abhängigkeit des Gasvolumens von der Erkundungssohle existiert dann nicht mehr.

2.1.12.04 Gasspeichervolumen (ist entfallen)

Da die FEP-Inhalte durch andere Gas-FEPs abgedeckt werden, ist das FEP entfallen.

2.1.12.05 Gaseindringdruck

RT: Das in der Definition verwendete unbegründete Postulat eines Zweiphasensystems im Steinsalzgebirge erscheint kontraproduktiv und wenig sachgerecht.

Die Definition ist allgemein gehalten, daher ist hier nicht von einem speziellen Gestein die Rede. Des Weiteren ist der Gaseindringdruck nach Meinung der Autoren für ein Zweiphasensystem in porösen Medien definiert worden und kann nicht auf ein System Gas – undurchlässiger Feststoff angewandt werden. Dieses System wird im neuen Katalog im FEP „Gasinfiltration ins Salzgestein“ behandelt. Im alten FEP-Katalog wurden diese Sachverhalte nicht deutlich genug voneinander getrennt. Im neuen Katalog werden die beiden Sachverhalte deutlicher dargestellt, vor allem wurden mehr Verweise zwischen den FEPs hinzugefügt.

RT: Die angeführten Gaseindringdrücke mit 100 MPa stehen im Widerspruch zu laborativen und in situ Beobachtungen.

Die Angaben sind ein Zitat, sie erscheinen aber im Vergleich zu anderen Zahlen sehr hoch. Die entsprechende Angabe wurde deshalb entfernt. Es wurde im neuen Katalog weitestgehend darauf verzichtet, Zahlenangaben zu machen. Es wird nur auf entsprechende Literatur verwiesen.

RT: Die Darstellung sollte insgesamt systematischer erfolgen.

Eine systematischere Trennung der Sachverhalte wurde angestrebt (s.o.). Das FEP wurde zum großen Teil neu bearbeitet (siehe auch FEP „Imprägnierung“).

2.1.12.06 Imprägnierung

RT: Imprägnierung sollte besser durch Infiltration ersetzt werden. Der Begriff der Gaswanderung sollte ersetzt werden.

Das FEP „Imprägnierung“ wurde umbenannt (s.u.). Dabei wurden die Inhalte neu bewertet und gegebenenfalls unter Berücksichtigung der Anmerkungen neu beschrieben.

RT: Widerspruch zu FEP „Imprägnierung“: In der Definition liegt der Gaseindringdruck auf dem Niveau des lithostatischen Überlagerungsdruckes.

Der Begriff Gaseindringdruck ist nach Meinung der Autoren auf ein Zweiphasensystem in porösen Medien beschränkt (siehe FEP 2.1.12.05) und kann nicht auf ein System Gas – undurchlässiger Feststoff übertragen werden. Hier sollten die Begrifflichkeiten klar auseinandergehalten werden. Der Begriff Gaseindringdruck wird in diesem FEP nicht verwendet.

RT: Forschungsbedarf besteht in vielfacher Hinsicht (physikalische Modellierung, rechnerische Simulation, in situ Belege mit Validierung).

Der vorgeschlagene Forschungsbedarf wurde im neuen FEP „Gasinfiltration ins Salzgestein“ berücksichtigt.

IT: Das FEP wurde umbenannt in „Gasinfiltration ins Salzgestein“ und hat eine neue Nummer 2.2.11.01. Das FEP „Imprägnierung“ entfällt damit.

Auf Grund der Änderung des Titels und der Überarbeitung des Inhalts wurde das FEP zu den FEPs, die sich auf das Wirtsgestein beziehen (Abschnitt 2.2), verschoben. Weitere Änderungen gegenüber dem alten FEP „Imprägnierung“ werden dort (2.2.11.01) beschrieben.

2.1.12.07 Gasfreisetzung aus Grubenbau

IT: Das FEP hat eine neue Nummer → 2.1.12.06

Das FEP „Imprägnierung“ (2.1.12.06) wurde entfernt.

IT: Das FEP hat einen neuen Titel.

Das FEP „Gasfreisetzung aus Grubenbau“ wurde in „Gasstrom aus Grubenbau“ umbenannt, um es an den Namen des neuen FEP „Gasströmung in der Geosphäre“ anzupassen.

RT: Die Definition findet sich wortwörtlich in 2.1.12.06.

Dieser redaktionelle Fehler im Bericht wurde korrigiert. Die richtige Definition lautet: Die Gasfreisetzung aus einem Grubenbau beschreibt den Prozess, bei dem in Abhängigkeit vom Fluiddruck, dem Gaseindringdruck und dem Gasspeichervolumen Gase aus einem Grubenbau freigesetzt werden.

RT: Eine Angabe von Literaturquellen wäre hilfreich. Wenn keine vorliegen, ist der nicht erforderliche Forschungsbedarf nicht plausibel.

Neue Literaturangaben wurden hinzugefügt. Beim Forschungsbedarf wurde ein Hinweis auf andere FEPs ergänzt.

IT: Bei „Allgemeine Informationen und Beispiele“ wurde ein Hinweis auf das neue FEP „Gasinfiltration ins Salzgestein“ ergänzt.

Dieser Hinweis dient der Abgrenzung zwischen beiden FEPs.

2.1.12.08 Zündfähige Gasgemische

IT: Neue FEP-Nr.

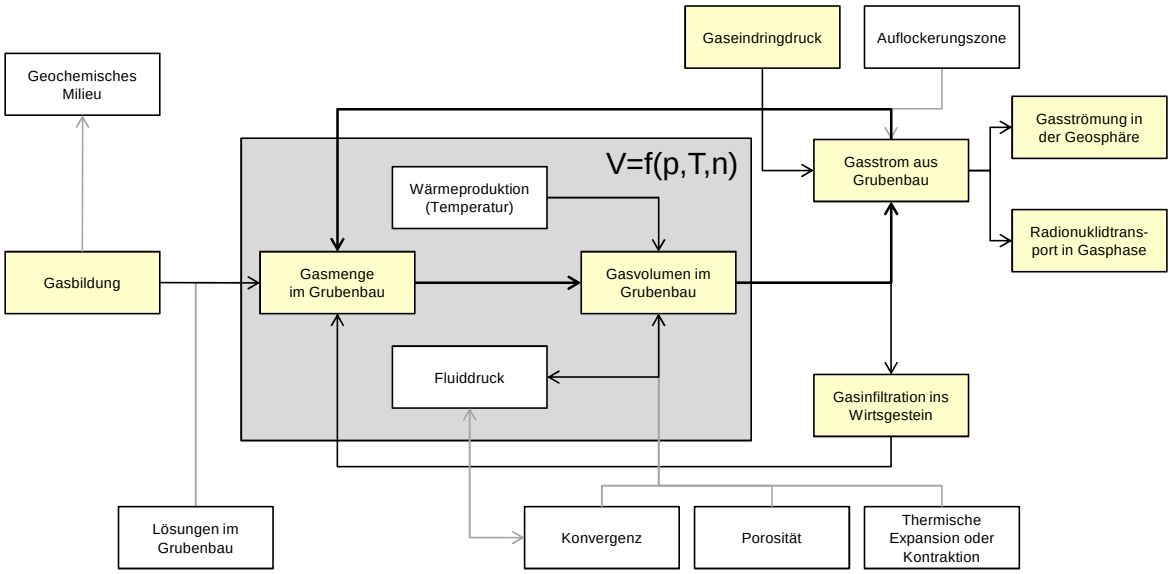
Das FEP hat eine neue Nummer (2.1.12.07), da das FEP „Imprägnierung“ (2.1.12.06) entfallen ist.

IT: Die bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit wird auf „nicht zu betrachten“, die Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren auf „nicht zutreffend“ gesetzt.

Da die im Endlager ablaufenden Prozesse erst Sauerstoff verbrauchen (aerobe Metallkorrosion) und danach Wasserstoff produzieren (anaerobe Metallkorrosion), ist das Auftreten eines zündfähigen Gasgemisches unwahrscheinlich und wird in keinem Teilsystem betrachtet. Solche FEPs werden gemäß der Präambel auf „nicht zutreffend“ gesetzt.

2.1.12 Neubearbeitung der FEPs in Kapitel 2.1.12

IT: Die bisherige Darstellung der FEPs in Kapitel 2.1.12 ist für Außenstehende vermutlich zu kompliziert und insgesamt nicht transparent genug. Daher soll die Darstellung der FEPs in diesem Kapitel vereinfacht werden, dies gilt insbesondere für die Abhängigkeiten.



Das FEP-Diagramm zeigt auf, wie die FEPs, die das Thema Gase zum Inhalt haben (gelb hinterlegt), in der neuen Version des FEP-Kataloges voneinander abhängen. Von zentraler Bedeutung und daher Ausgangspunkt der Darstellung ist die Zustandsgleichung eines Gases V=f(p,T,n). Das Gasvolumen (in diesem FEP wird in der neuen Fassung des FEP-Kataloges das Gasspeichervolumen subsumiert) ist danach von der Temperatur, der Gasmenge und dem Druck im Grubenbau abhängig. Die Zustandsgleichung ist in der Abbildung mit den vier FEPs im grauen Kasten abgebildet.

Je nach den hydraulischen Gegebenheiten ergibt sich aus dem herrschenden Fluiddruck das von der Gasmenge eingenommene Gasvolumen, oder das für die Gasmenge verfügbare Gasvolumen bestimmt den Fluiddruck (dargestellt durch den Doppelpfeil zwischen Gasvolumen und Fluiddruck).

In dieser vereinfachten Darstellung ist das Gasvolumen die „Schnittstelle“ zu einem Gasstrom aus dem betrachteten Grubenbau. Nur das Gasvolumen beeinflusst den Gasstrom bzw. den Spezialfall, dass das Gas ins Salzgestein infiltriert. Der Fluiddruck wirkt nur indirekt auf die Freisetzung. Bei Anwesenheit einer flüssigen Phase ist zudem der Gaseindringdruck zu berücksichtigen.

Eine Gasfreisetzung erniedrigt die Gasmenge im Grubenbau und hat damit indirekt wieder Einfluss auf das Gasvolumen und den Fluiddruck. Der wesentliche Pfad von Abhängigkeiten ist (dargestellt mit fetten Pfeilen): Gasmenge im Grubenbau → Gasvolumen im Grubenbau → Gasstrom aus Grubenbau → Gasmenge im Grubenbau

2.1.13.01 Strahlungsinduzierte Aktivierung

RT: Eine strahlungsinduzierte Aktivierung kann nur durch Neutronen hervorgerufen werden.

Die entsprechende Aussage wurde korrigiert.

RT: Die Zunahme des Radionuklidinventars durch Neutronenaktivierung im Endlager kann getrost unberücksichtigt bleiben.

Die missverständliche Formulierung wurde geändert: ... nimmt das Inventar zu. Diese Zunahme kann aber auf Grund des radioaktiven Zerfalls von Radionukliden unberücksichtigt bleiben.

2.1.13.02 Materialversprödung durch Strahlung

RT: Im Endlager ist der Umfang der Schädigung marginal. Eine Schädigung und Behälterausfall ist nicht zu befürchten.

Die Handhabung des FEPs wurde auf Grund dieser Anmerkung für alle Teilsysteme auf „Nicht zu berücksichtigen“ gesetzt.

RT: Die Materialversprödung durch die Anwesenheit von Korrosionswasserstoff (Wasserstoffversprödung) ist bei einigen Stählen relevant.

Das FEP „Materialversprödung durch Wasserstoff“ wurde in den FEP-Katalog aufgenommen.

IT: FEP wird in allen Teilsystemen auf „nicht zu berücksichtigen“, die Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren auf „nicht zutreffend“ gesetzt..

Obwohl es ein wahrscheinlicher Prozess ist, ist durch Untersuchungen nachgewiesen worden, dass die Auswirkung auf die Materialien im Endlagersystem im Vergleich zu anderen Prozessen (Metallkorrosion, Materialversprödung durch Wasserstoff) nicht relevant sind. Das FEP wird daher in einem keinem Teilsystem betrachtet. Die Abhängigkeiten wurden dementsprechend gelöscht.

2.1.13.03 Radiolyse

RT: Für den dickwandigen POLLUX-Behälter besteht dieses FEP nicht.

Die „Allgemeinen Informationen und Beispiele“ und die „Sachlage am Referenzstandort“ wurden neu strukturiert. Dabei wurde auch auf die Bedeutung der Abschirmung der POLLUX-Behälter eingegangen.

RT: Die Literaturangaben sind veraltet.

Die Literatur wurde überarbeitet.

2.1.13.04 Erreichen einer kritischen Ansammlung (Kritikalität)

RT: Da 239Pu zu 235U zerfällt, gilt diese FEP über lange Zeit. Nach 100.000 Jahren ist 239Pu zu einem erheblichen Teil zerfallen. Da sich die Uranisotope chemisch gleich verhalten, entfällt nach dieser Zeit weitgehend die Möglichkeit der Bildung einer auf geochemischen Prozessen beruhenden Aufkonzentrierung von Kernbrennstoff.

Der angesprochene Aspekt wurde bei „Zeitliche Beschränkung“ ergänzt.

IT: Die Literaturangaben sind zu erweitern.

Die Literatur wurde überarbeitet: der Synthesebericht des BfS „Wirtsgesteine im Vergleich“ und die darauf folgende RSK-Stellungnahme wurden hinzugefügt.

2.2.01.01 Auflockerungszone

IT: Begründung eingefügt.

Es wurden Begründungen für die Einstufungen des FEP bezüglich der „Bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit“, der „Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren“ und der „Handhabung“ eingefügt.

IT: Bedingte Eintrittwahrscheinlichkeit geändert.

Da sich nach der Auffahrung von Grubenräumen immer eine Auflockerungszone bildet, wurde die Einstufung der Eintrittswahrscheinlichkeit zu "Randbedingung" geändert.

IT: Einwirkung auf die Funktion von ewB und Handhabung geändert.

Unter „Direkte Einwirkung auf die Funktion folgender einschlusswirksamer Barrieren“ ist das "Wirtsgestein" entfallen, da gemäß Definition der Teilsysteme die Auflockerungszone dem Nahfeld und den Strecken und Schächten zugeordnet wird. Deshalb wird das Wirtsgestein auch bei der Handhabung nicht berücksichtigt.

IT: Beschreibungen überarbeitet.

Nach dem Wegfall des FEPs 2.1.07.06 Rissbildung wurde ein Teil der Texte in das FEP „Auflockerungszone“ übernommen und daher alle Beschreibungen für das FEP überarbeitet.

IT: Offene Fragen, Forschungsbedarf ergänzt

Unter „Offene Fragen, Forschungsbedarf“ wurde "Langzeitstabile Abdichtung der Auflockerungszone" eingefügt.

2.2.02.02 Klüfte im Wirtsgestein

IT: Begründung für bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit und Einwirkung auf ewB

Im Hauptsalz, dem Einlagerungsbereich, existieren keine geogenen Klüfte, so dass ein verbundener Transportpfad nicht ausgebildet werden kann. Die durch die Auffahrung bedingte Auflockerungszone um Strecken und Schächte stellt in der frühen Endlagerentwicklung gegenüber einem nicht konsolidierten Salzgrusversatz keinen bevorzugten Transportpfad dar. Durch die Konvergenz werden in späteren Zeiten die Auflockerungszone geschlossen und der Versatz kompaktiert. Das FEP muss daher nicht für die Teilbereiche „Nahfeld“ bzw. „Strecken und Schächte“ berücksichtigt werden.

RT: Klüfte und Risse sollten deutlich unterschieden werden; hier sollte der Fachterminologie enger gefolgt werden. Eine klare Abgrenzung (auch nomenklatorisch) von natürlichen und "künstlichen" Trennfugen ist anzustreben...
Der Begriff „Künstlich gebildete Risse“ ist tautologisch. Wir empfehlen, „natürlich“ und „künstlich“ durch „geogen“ und „technogen“ zu ersetzen.

Neue Definition: „Klüfte sind natürliche bankrechte und bankschräge Trennfugen im Gestein ohne oder ohne merkbare Dislokationen an den Trennflächen, im Gegensatz zu Störungen, die durch eine merkbare Dislokation gekennzeichnet sind (Deutsches Handwörterbuch der Tektonik 1982). Im Rahmen des FEP-Katalogs wird zwischen geogenen (natürliche Ursachen) und technogenen (endlagerbedingte Ursachen) Klüften unterschieden.“

Der Text unter „Weitere Informationen“ wurde wie folgt geändert: „Störungen (Wechsel, Sprung, Blatt) besitzen im Gegensatz zu geogenen Klüften einen deutlichen Versatz des Gesteinsverbandes entlang der Trennflächen. Risse sind ebenfalls Trennfugen im Gestein

und könnten daher auch als Klüfte bezeichnet werden. Die Bezeichnung ‘Risse’ wird in der ISIBEL-FEP-Liste dennoch genutzt, um die z. B. durch Gasdruck oder wärmebedingten Spannungsveränderungen im Gestein entstehenden technogenen Trennfugen nomenklatorisch von den geogenen unterscheiden zu können.“
Weiterhin wurde im letzten Absatz der letzte Satz gestrichen.

RT: Eine Formulierung wie „Klüfte an vielen Stellen im Wirtsgestein des Referenzstandortes“ könnte bedeuten, dass die Isolationsfähigkeit der geologischen Barriere erheblich in Frage gestellt ist. Die Formulierung „die Klüfte sind in der Regel geschlossen und durch Mineralneubildung verheilt“ ist missverständlich (gibt es offene trockene Klüfte? In welchen Gesteinen?).
Die Übertragung der „Verheilungsgeschwindigkeit“ von Klüften im Salzspiegelbereich auf die Verhältnisse im Endlagerbereich ist zu begründen.
Der Zusammenhang zwischen der Isoliertheit von Hauptanhydritschollen und der Fluidfüllung und die Angabe zur Kluftentstehung durch „Klimaänderungen…“ sind zu erläutern.

Im Punkt „Sachlage“ wurde der 1.Satz geändert: „Klüfte sind in den Grenzbereichen von kompetenten und inkompetenten (z. B. Zechstein 2/3 Grenzbereich) bzw. in den kompetenten (z. B Hauptanhydrit) Salzgesteinen des Salzstocks vorhanden.“
Weiterhin wurde der 3. Absatz überarbeitet: „Die Klüfte im Salzspiegelbereich sind in der Regel geschlossen und durch Mineralneubildungen verheilt.“
Im 4. Absatz wurde im 1. Satz „isolierte“ gestrichen.
Der letzte Satz wurde umformuliert: „Als Ursachen für eine mögliche Kluftentstehung im Wirtsgestein sind Salzbewegungen/Tektonik, Klimaänderungen mit einer Abkühlung des Salzspiegelbereiches …“.

RT: Wenn die angesprochene Möglichkeit eines Transportpfades für Radionuklide auch die Funktion als Zutrittsweg für Lösungen einschließt, sollte das erwähnt werden.
Wenn die Ausbildung von Risssystemen und ihre Vernetzung mit geogen vorhandenen offenen Klüften nicht ohne weiteres auszuschließen ist, müsste dieser Prozess doch auch unter „Nahfeld“ sowie „Strecken und Schächte“ berücksichtigt werden.
Wenn „Klüfte an vielen Stellen im Wirtsgestein des Referenzstandortes“ vorhanden sind, dürfte wohl die Isolationsfähigkeit der geologischen Barriere erheblich in Frage gestellt sein. Hier ist dringend eine Überarbeitung nötig.

Unter „Standortspezische Auswirkungen“ wurde der 2. Absatz geändert: „Durch die Auffahrung des Grubengebäudes und die Einlagerung wärmeentwickelnder Abfälle ist die Ausbildung einer Auflockerungszone gegeben und die Bildung technogener Klüfte möglich. Es ist zu unterstellen, dass beide mit geogenen Klüften verbunden werden können. Die Möglichkeit ist durch eine entsprechende Endlagerplanung zu unterbinden, um keinen Transportpfad für Radionuklide aus dem Einlagerungsbereich zu generieren. Allerdings existieren im Hauptsalz keine geogene Klüfte, so dass dort ein verbundener Transportpfad zwischen geogenen und technogenen Klüften nicht ausgebildet werden kann.“

2.2.03.01 Deck- und Nebengebirge

IT: Begründung für Bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit und Einwirkung auf ewB

Keine Begründung erforderlich, da Randbedingung.

RT: Auch „geohydraulische Eigenschaften“ und „Grundwasserverhältnisse“ sollten in der Definition erwähnt werden.

Die FEP-Definition wurde wie folgt ergänzt: „….Festigkeit, Dichte, die in den Gesteinen anzutreffenden geohydraulischen Bedingungen und die Grundwasserverhältnisse.“

Unter „Sachlage“ wurden hinter dem 2. Satz die folgende Erläuterungen hinzugefügt: „Die präquartären Schichten wurden durch den Aufstieg über dem Salzstock aufgewölbt. Durch die elsterzeitliche glazigene Rinne erfolgte eine Erosion dieser Schichten, so dass quartärzeitliches Material am Salzspiegel in direktem Kontakt mit dem Salzgestein steht. Jüngere saalezeitliche Eisvorstöße verursachten eine Eistektonik, die zur Stauchung und Verschuppung der Schichten in Teilbereichen des Referenzstandortes führte (vgl. FEP Vollständige Inlandvereisung).
Hydrogeologisch kann vereinfacht zwischen einem unteren, Salzwasser erfüllten und einem oberen, Süßwasser erfüllten Aquifer unterschieden werden. Die Grundwasserströmung in der glazigenen Rinne verläuft SW nach NE und außerhalb der Rinne nördlich des Salzstocks in nordwestlicher Richtung…“

Die Ausführungen unter „Zeitliche Beschränkung“ wurden wie folgt geändert: „Die Zusammensetzung und der Aufbau des Deckgebirges sowie die bestehenden hydrogeologischen Verhältnisse in der heutigen Form können im Verlauf zu erwartender kommender Kaltzeiten vollständig verändert werden.“

RT: Es ist unklar, in welcher Weise dieses FEP bei „Wirtsgestein“ berücksichtigt wird.

Unter „Handhabung“ wird das FEP bei „Wirtsgestein“ nicht mehr berücksichtigt“.

RT: Bei den Literaturquellen sollte auch auf Arbeiten anderer Untersuchungsgruppen (z. B. DUPHORN et al.) verwiesen werden.

Im Abschnitt „Sachlage“ wurde am Schluss eingefügt: „Das Deck- und Nebengebirge ist in der Standortbeschreibung (KLINGE, BOEHME et al. 2007; KÖTHE, HOFFMANN et al. 2007; vgl. a. KELLER 2007) oder durch die quartärgeologische Kartierung von DUPHORN et al. (1983) beschrieben.“
Das Literaturverzeichnis wurde ergänzt.

2.2.04.01 Störungen und Störungszonen

IT: Begründung für Bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit und Einwirkung auf ewB

Durch die Salzstockrandstörung der Bohrung Go 1005 wird die direkte Einwirkung auf die Barriere Wirtsgestein begründet. Das Teilsystem Wirtsgestein ist daher bei der Handhabung "zu berücksichtigen."

RT: Der Begriff „Verstellung“ sollte durch den Begriff „Versatz“ ersetzt werden, der später in Form von „Versatzbeträgen“ verwendet wird.

Die vorgeschlagene begriffliche Änderung wurde übernommen.

Unter „Sachlage“ wurde am Schluss die Sätze ergänzt: „Eine Sockelstörung unterhalb des Salzstocks konnte bislang nicht nachgewiesen werden. Durch das vorrückende Inlandeis wurden die känozoischen Schichten eistektonisch versetzt und verschuppt.“

Der Text unter „Zeitliche Beschränkung“ wie folgt umformuliert: „Die Voraussetzungen für die Bildung von Störungen und Störungszonen sind prinzipiell immer gegeben. Im Deckgebirge haben sie allerdings nur bis zu einer nächsten Kaltzeit vom Typ Elster Bestand (vgl. FEP Vollständige Inlandvereisung).“

2.2.05.01 Geosphäre: Eigenschaften der Transportpfade (ist entfallen)

IT: FEP ist entfallen

Das FEP „Geosphäre: Eigenschaften der Transportpfade“ (2.2.05.01) entfällt nach Diskussion im ISIBEL-Projektteam. Die FEP-Inhalte sind in anderen FEPs (z. B. Klüfte im Wirtsgestein, Grundwasserströmung in der Geosphäre, oder Hydrochemische Verhältnisse im Deck- und Nebengebirge) enthalten.

RT: Eine Definition bzw. Abgrenzung des Begriffs Geosphäre wäre hilfreich. Der Bezug zum Nahfeld ist darzustellen.

Neue FEP-Definition: „Das FEP beschreibt mögliche Vorkommen von Transportpfaden im Wirtsgestein und im Deck- und Nebengebirge.“

Durch diese Definition ergibt sich indirekt auch der Umfang des Begriffs Geosphäre.

RT: Der Begriff Wirtsgestein wird hier entgegen der Festlegung für den FEP-Katalog (gesamter Salzgesteinskörper zwischen Basis, Nebengebirge und Salzspiegel) nur auf Steinsalz bezogen.

Der Begriff „Wirtsgestein“ wird unverändert verwendet. Die FEP-Beschreibung wurde entsprechend angepasst.

RT: Hydraulisch wirksame Störungen werden nicht erwähnt (Begründung?). Gegebenenfalls sind die kaltzeitlichen Änderungen der Transportpfade darzustellen.

Hydraulisch wirksame Störungen sind gegenüber den mächtigen, miteinander verbundenen quartär- und tertiärzeitlichen Aquiferen bedeutungslos.

Unter „Sachlage“ wurde der vorletzte Absatz wie folgt geändert: „…..im Wirtsgestein aufgrund thermisch-mechanischer Beanspruchung ….“
Weiterhin wurde der letzte Absatz umformuliert: „…..durch die Auswirkungen nächster Kaltzeiten ändern.“

Der 1. Satz des Abschnitts „Auswirkungen“ wurde geändert: „Transportpfade ermöglichen die Strömung von Fluiden….“

2.2.06.01 Spannungsänderung und Spannungsumlagerung

IT: Begründung eingefügt.

Es wurden Begründungen für die Einstufungen des FEP bezüglich der „Bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit“, der „Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren“ und der „Handhabung“ eingefügt.

IT: „Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren“ geändert.

Strecken- und Schachtverschlüsse sind entfallen, da die Spannungsumlagerungen und Spannungsänderungen auf diese nur indirekt über die Konvergenz einwirken.

IT: Direkte Abhängigkeiten geändert.

Bei den „beeinflussenden FEPs“ wurde das FEP „Deck- und Nebengebirge“ ergänzt.

RT: Die begriffliche Trennung in „Spannungsänderung“ und „Spannungsumlagerung“ in der gewählten Definition erscheint eher sehr künstlich und wohl auch nicht erforderlich.

Eine Unterscheidung zwischen „Spannungsänderungen“, die eine Erhöhung oder Erniedrigung des Beanspruchungszustandes in einem Tragwerksbereich ohne irreversible Deformationen beschreiben, und „Spannungsumlagerungen“, bei denen es sich um Spannungsausgleichsprozesse handelt, die von irreversiblen Deformationen begleitet sind, erscheint sinnvoll.

RT: Grundsätzlich erscheinen in Endlager- relevanten Teufen konturnahe Deformationen mit Schädigungen eher als der Normalfall als die Ausnahme. Thermische Einwirkungen bewirken nicht nur Spannungserhöhungen.

Die Formulierungen wurden wie folgt geändert:
Die Erfahrungen im Erkundungsbergwerk Gorleben zeigen, dass bei der Auffahrung der Grubenbaue am Referenzstandort Sekundärspannungen an der Hohlraumkontur auftreten, die zu dilatanten Verformungen und somit zu Spannungsumlagerungen unter Ausbildung einer

Auflockerungszone mit Fissuren führen können. … Durch die zukünftige Einlagerung wärmeentwickelnder Abfälle und die resultierende Aufheizung des umgebenden Gebirges wird es zur thermischen Expansion bzw. bei der späteren Abkühlung zur Kontraktion des Gebirges kommen. Dabei treten Spannungsänderungen und -umlagerungen im Gebirge auf.

2.2.07.01 Fluidvorkommen im Wirtsgestein

IT: Begründung für Bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit und Einwirkung auf ewB

Wo Fluidvorkommen vorhanden sind, ist eine Durchströmbarkeit des Wirtsgesteins gegeben, so dass sich daraus eine Einwirkung auf die Barriere Wirtsgestein ergibt.

RT: Es ist zu erläutern, mit welchen Schichtsilikaten und / oder Karbonaten und wo Lösungen im Verlauf der Migration reagiert haben.

Unter „Sachlage“ wurde im 1. Abs geändert: „……trotz der halokinetischen Deformation meist erhalten geblieben ist (SCHRAMM 2005). Im Bereich der an den Klüften gebundenen Fluidvorkommen ist ein Strömungspfad prinzipiell gegeben.“
Am Ende des 3. Absatzes wurde ergänzt: „…..und / oder Karbonaten (Grauer Salzton, Leine-Karbonat) reagierten.“

2.2.07.02 Lösungsmigration im Wirtsgestein

IT: Begründung für bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit und Einwirkung auf ewB

Keine Begründung erforderlich; vgl. Einstufungen in Handhabung, Einwirkung ewB, Eintrittswahrscheinlichkeit.

RT: Die Aussage „Steinsalz besitzt eine sehr geringe Permeabilität und ist damit als undurchlässig anzusehen, wodurch …“ sollte durch eine widerspruchsfreie Formulierung ersetzt werden.

Die vorherigen Ausführungen unter „Weitere Informationen“ sind entfallen.

Unter „Sachlage“ wurde der erste Sätze wie folgt geändert: „Das Steinsalz ist durch seine sehr geringe Permeabilität als hydraulisch dicht für die Migration natürlicher Lösungen ohne eine weitere äußere Einwirkung auf das Wirtsgestein auszusehen. Erst durch die mit der Auffahrung von untertägigen Hohlräumen und der Einlagerung verbundenen Prozesse wie beispielsweise Belastungsänderung in Hohlraumnähe, Druckaufbau durch Gasbildung oder ….“
Weiterhin wurde das Zitat „(SCHRAMM et al. 2009)“ eingefügt:
Der vorletzter Satz wurde umformuliert: „…., so dass daraus keine durchgängigen Pfade mit einer Verbindung ins Neben- oder Deckgebirge …..“

Wenn im Steinsalz die natürliche Migration auszuschließen ist, können „Standortauswahl und die konkrete Auslegung des Endlagers“ kaum mehr die Sicherstellung der Nicht-Migration bewirken. Ohnehin hat es beim Standort Gorleben keine auf diesen Sachverhalt gerichtete Standortauswahl gegeben.

Die Formulierung unter „Auswirkungen“ wurde wie folgt geändert: „Durch die konkrete Auslegung des Endlagers wird sichergestellt, dass im Bereich des Endlagers keine neuen bis in das Nebengestein durchgängigen Wegsamkeiten entstehen und keine Lösungen im unverritzten Wirtsgestein migrieren können.“

RT: Die Verbindung von geringer Permeabilität und Alter der eingeschlossenen Lösungen erscheint wenig plausibel.

Es wurde der folgende Satz ergänzt: „Wäre die Permeabilität größer, müssten sich Signaturen von jüngeren Wässern im Salzgebirge finden lassen.“

2.2.07.03 Geosphäre: Grundwasserströmung (Titel geändert)

IT: Titel geändert

Das FEP wurde umbenannt in „Grundwasserströmung in der Geosphäre“

IT: Begründung für die bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit und die Einwirkung auf die ewB

Es handelt sich um eine Randbedingung, die durch das FEP „Subrosion“ indirekt auf die Funktion der ewB einwirkt.

IT: Verdeutlichung der Darstellung im Abschnitt „Sachlage“

Zur Verdeutlichung wurde nach dem ersten Satz des Abschnitts „Sachlage“ der folgende Text eingefügt: „Der generelle Trend der Grundwasserströmung im Deckgebirge verläuft über dem Salzstock im Bereich der Gorlebener Rinne von Südwest nach Nordost und außerhalb des Salzstocks nach Nordwesten. Es ist ein unterer und oberer Aquifer ausgebildet, die überwiegend durch tonige holsteinzeitliche Sedimente, durch den Lauenburg-Ton-Komplex und den tertiärzeitlichen Hamburg-Ton getrennt sind.“

RT: Die Aussage, dass kein weiterer Forschungsbedarf vorliegt, erscheint zweifelhaft.

Aus Sicht des ISIBEL-Teams ist aufgrund der bisherigen intensiven Erkundungs- und Forschungsarbeiten eine detaillierte Standortbeschreibung bezüglich der Grundwasser-Strömungsverhältnisse möglich. Da das Deck- und Nebengebirge keine Sicherheitsrelevanz als einschlusswirksame Barriere besitzt, werden weitere intensive Forschungen für nicht erforderlich gehalten.

2.2.07.04 Gasströmung in der Geosphäre (Neues FEP)

IT: Neu aufgenommenes FEP

Die Beschreibung der Gasströmung in der Geosphäre ist bisher im FEP-Katalog nicht vorgekommen. Zur vollständigen Beschreibung des Gaspfades ist ein solcher FEP notwendig. Der Transport von Radionukliden ist im FEP „Radionuklidtransport in der Gasphase“ beschrieben.

2.2.08.01 Hydrochemische Verhältnisse in Deck- und Nebengebirge

IT: Begründung für bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit und Einwirkung auf ewB

Es handelt sich um eine Randbedingung, die durch das FEP „Subrosion“ indirekt auf die Funktion der ewB einwirkt. Das FEP ist für die Handhabung des Teilsystems Wirtsgestein daher „zu berücksichtigen“.

RT: Bei anderen als denen in „Weitere Informationen“ angegebenen Strömungswegen und Veränderung des strömenden Mediums können sich, z. B. über die Dichte des Grundwassers, auch die hydraulischen Verhältnisse ändern.

Im Abschnitt „Weitere Informationen“ wurde ergänzt: „Bei anderen Strömungswegen und Veränderung des strömenden Mediums können sich, z. B. über die Dichte des Grundwassers, auch die hydraulischen Verhältnisse ändern.“

RT: Auch Geschwindigkeit der Grundwasserströmung und die „Sorptionsleistung“ von Gesteinspartikeln / -matrix können durch die hydrochemischen Verhältnisse beeinflusst werden.

Unter „Standortspezische Auswirkungen“ wurde hinzugefügt: „Auch die Geschwindigkeit der Grundwasserströmung und die "Sorptionsleistung" von Gesteinspartikeln / -matrix können beeinflusst werden.“

2.2.09.01 Mikrobielle Prozesse in der Geosphäre

IT: Begründung für bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit und Einwirkung auf ewB

Mögliche Umsetzungen durch mikrobielle Prozesse im Deck- und Nebengebirge haben für die Funktion der ewB Wirtsgestein keine Auswirkung ("nicht zutreffend"). Das FEP ist bei der Handhabung des Wirtsgesteins daher "nicht zu berücksichtigen".

RT: Innerhalb des Wirtsgesteins findet keine biochemische Sulfatreduktion statt, sonst wäre der Anhydrit umgesetzt worden. Es bleibt unklar, für welche Bedingungen dieses FEP gilt, z. B. für Nahfeld oder Biosphäre.

In „Definition“ wurde der 1. Satz geändert: „….Prozesse in der Geosphäre außerhalb des Grubengebäudes.“

Der Abschnitt „Allgemeine Informationen“ wurde wie folgt überarbeitet: „Die biochemischen Prozesse beruhen auf den Mechanismen und der Steuerung des Stoffwechsel von Kleinstlebewesen und der daran beteiligten Stoffe im wässrigen Milieu. Die Mikroorganismen wie z. B. Bakterien werden in der Erdkruste an vielen Stellen gefunden, wo sie auch unter reduzierenden, sauerstofffreien Verhältnissen Energie durch den Abbau von chemischen Verbindungen gewinnen und davon leben können.
Sulfat reduzierende Bakterien existieren normalerweise bei Temperaturen bis < 60-80 °C, obwohl hyperthermophile Sulfatreduzierer auch bei höheren Temperaturen von bis zu 110 °C in der Umgebung hydrothermaler Exhalationen von Tiefseeböden beobachtet wurden. In Regionen mit der typischen geothermischen Tiefenstufe von 3 °C pro 100 m würde die "Normal"-Temperatur ein Leben der Bakterien in Tiefen bis ca. 2000-2500 m ermöglichen.
Im Gipshut von Salzlagern weisen massige Kalzit- oder Schwefelvorkommen darauf hin, dass es an dieser Stelle zu mikrobiell bedingten Umsetzungen kam, was z. B. aufgrund negativer $\delta^{13}C$-Signaturen des Kalzits belegt werden kann.“

In „Sachlage“ wurde der letzte Satz gestrichen.

Der 2. Absatz im Abschnitt „Standortspezische Auswirkungen wurde umformuliert: „…..können das chemische Milieu der Geosphäre bzw. die hydrochemischen Verhältnisse im Deck- und Nebengebirge (z. B. Konkretionsbildungen, Schwefelbildungen im Hutgestein) beeinflusst werden…..“
letzter Satz ersetzt: „Mikrobielle Prozesse im Nahfeld, den Strecken und Schächten werden im FEP Mikrobielle Prozesse im Grubengebau behandelt.“

RT: Es wird im Wesentlichen auf die Granitumgebung eingegangen. Wichtiger wäre ein Hinweis auf die Untersuchung der mikrobiellen Prozesse in der WIPP bzw. zur Frage, wie es im HAW-EL zu mikrobiellen Prozesse kommen könnte.

Nur ein von sechs Zitaten weist auf die Granitumgebung hin, die anderen beziehen sich auf salinare Verhältnisse.

2.2.10.02 Wärmebedingte Hebung / Senkung des Deckgebirges

IT: Titel geändert

Der Titel wurde geändert in „Wärmebedingte Hebung **oder** Senkung des Deckgebirges“

IT: Begründung eingefügt.

Es wurden Begründungen für die Einstufungen des FEP bezüglich der „Bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit“, der „Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren“ und der „Handhabung“ eingefügt.

IT: Handhabung geändert.

Da die erwartete Hebung des Deckgebirges um wenige Meter für einen sehr begrenztem Zeitabschnitt - abgesehen von der dadurch möglicherweise geringfügig erhöhten lokalen Erosion - ohne Auswirkungen bleibt, wird das FEP bei der Handhabung auch für das Deck- und Nebengebirge nicht berücksichtigt.

IT: Abhängigkeiten entfallen.

Da das FEP in allen vier Teilsystemen „nicht zu berücksichtigen“ ist, sind alle direkten Abhängigkeiten entfallen.

RT: Etwaige Veränderungen und daraus resultierende Konsequenzen im Grenzbereich Wirtsgestein / Deckgebirge sollten im Punkt „Standortspezifische Auswirkungen“ dargestellt werden.

Im Abschnitt „Auswirkungen“ wurde der folgende Text ergänzt: „Durch die Wärme bedingte Ausdehnung des Wirtsgesteins und die dadurch verursachte geringe Anhebung des Deckgebirges wird auch die Grenzfläche Deckgebirge - Salzstock um diesen Betrag angehoben. Strukturelle Veränderungen sind daraus nicht zu erwarten. Dehnungsklüfte sind in den Salzgesteinen im Bereich des Salzspiegels möglich (vgl. FEP Thermisch bedingte Spannungsänderungen im Wirtsgestein und FEP Temperaturänderung am Salzspiegel).“

2.2.10.03 Thermisch bedingte Spannungsänderungen im Wirtsgestein

IT: Begründung eingefügt.

Es wurden Begründungen für die Einstufungen des FEP bezüglich der „Bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit“, der „Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren“ und der „Handhabung“ eingefügt.

RT: Die Zuverlässigkeit der Aussage zu Klüftigkeit und Zerblockung des Hauptanhydrits (und des ausreichenden Abstands zwischen den Blöcken) ist vor dem Hintergrund der in den FEPs 2.2.12.01 und 2.2.12.02 angesprochenen Fragen zur Sicherheit / Unsicherheit von Erkundungsverfahren und Interpretationsfehlern darzulegen.

Die Zuverlässigkeit der Aussage im Rahmen eines FEPs zu diskutieren, erscheint nicht sinnvoll. Solche Fragen werden explizit und detailliert in einem separaten Bericht zu den Ungewissheiten behandelt. Die Zerblockung kann durch Messungen nachgewiesen werden und kann aus dem Systemverständnis begründet werden.

RT: Es sollte beschrieben werden, welche Konsequenzen sich gegebenenfalls aus der Überlagerung der beschriebenen zerfallsinduzierten und klimainduzierten Prozesse ergeben können.

Es kann keine Konsequenzen aus der Überlagerung von zerfallsinduzierten und klimainduzierten Prozessen geben, da beide Prozesse auf Ursachen beruhen, die zeitlich voneinander entkoppelt sind.

RT: Die nachgewiesene zerblockte Struktur erscheint nicht hinreichend. Erforderlich ist eine unter relevanten Einwirkungen dauerhaft vorhandene hydraulische Isolation. Es sollte dokumentiert werden, dass tatsächlich für jede Scholle umfassend eine hinreichende salinare Zwischenlage ausgewiesen ist.

Im Abschnitt „Auswirkungen“ wurde nach dem 2. Abschnitt ergänzt: „Die zerblockte Struktur ergibt sich aus Georadarmessungen und muss aus dem Verständnis zum Salzstocksystem abgeleitet werden.“
Weiterhin wurde hinter dem letzten Absatz hinzugefügt: „Durch die Spannungsänderungen im Nahfeld wird die Konvergenz gefördert und damit die Kompaktion des Salzgruses beschleunigt.“

Im Abschnitt „Zeitliche Beschränkung“ wurde der letzte Satz wie folgt geändert: „…ist frühestens ab etwa 50.000 Jahren möglich.“

2.2.10.04 Temperaturänderung am Salzspiegel

IT: Begründung eingefügt.

Es wurden Begründungen für die Einstufungen des FEP bezüglich der „Bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit“, der „Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren“ und der „Handhabung“ eingefügt.

RT: Es sollte diskutiert werden, ob eine Beschränkung der Temperaturänderung im Deckgebirge erforderlich ist. Die Aussage zu erhöhter Lösungsfähigkeit des Grundwassers bei erhöhter Temperatur gilt eher nicht für Steinsalz. Etwaige Konsequenzen der unterschiedlichen temperaturabhängigen Löslichkeit der am Salzspiegel vorhandenen Minerale und Gesteine sollte dargestellt werden.

Im Abschnitt „Standortspezifische Auswirkungen“ wurde der 2. Satz geändert: „Eine erhöhte Subrosion an leicht löslichen Salzgesteinen ist durch eine höhere Lösungsfähigkeit bis zur Sättigungsgrenze des Grundwassers für den Zeitraum der Thermalphase möglich.“
Weiterhin wurde hinter dem letzten Satz ergänzt: „In dieser kurzen Zeit nach Verschluss des Endlagers wird nicht damit gerechnet, dass Radionuklide den Bereich des Salzspiegels erreichen. Konsequenzen aus der Temperaturänderung am Salzspiegel bezüglich der Radionuklidmigration sind daher nicht zu betrachten.“

2.2.10.06 Thermische Carnallitzersetzung

IT: Eintrittswahrscheinlichkeit wird auf „nicht zu betrachten“, die Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren auf „nicht zutreffend“ gesetzt.

Da im Endlagerkonzept ein ausreichender Sicherheitsabstand zwischen Einlagerungsbereichen und carnallitithaltigen Schichten vorgesehen ist, ist eine thermische Carnallitzersetzung nicht zu betrachten.
.

2.2.10.07 Schmelzen des Wirtsgesteins

IT: Der Titel wurde geändert. Der neue FEP-Name ist „Schmelzen des Salzgesteins“.

Der FEP soll allgemeiner gefasst sein und alle wesentlichen Salzminerale, die in Salzstöcken in der norddeutschen Tiefebene vorkommen können, beinhalten. Es wurde daher in der neuen Fassung die Schmelztemperatur von Anhydrit aufgenommen.

2.2.10.08 Thermochemische Sulfatreaktion (neues FEP)

IT: Das FEP wurde neu angelegt.

Aufgrund der Diskussion mit dem Review-Team wurde entschieden, das FEP neu in den FEP-Katalog aufzunehmen.

2.2.11.01 Gasinfiltration ins Salzgestein (neues FEP)

IT: Das FEP wurde neu angelegt.

Das FEP wurde auf Grund der Anmerkungen im Review an Stelle des FEP „Imprägnierung“ in den FEP-Katalog aufgenommen. Seine Inhalte beziehen sich im wesentlichen auf die Aussagen und Ergebnisse aus POPP et al. (2007) und RÜBEL & MÖNIG (2008).

2.2.12.01 Unerkannte Merkmale

IT: Begründung für bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit und Einwirkung auf ewB

Es wurde folgende Begründung eingefügt: „Aus dem FEP sind keine "Standortspezifischen Auswirkungen" abzuleiten, da "Unerkannte Merkmale" in "what-if"-Szenarien für den Nachweis der Robustheit des Systems gegebenenfalls zu betrachten und die daraus folgenden Konsequenzen in entsprechenden Rechnung zu ermitteln sind.“

RT: Die Aussage „Annahmen über etwaige unerkannte Merkmale wären spekulativ…“ gilt lediglich für die Unterstellung, dass unerkannte Merkmale willkürlich postuliert werden. Die Frage, ob Merkmale (nicht nur das unter „Weitere Informationen und Beispiele“ genannte Kohlenwasserstoff-Vorkommen) unerkannt bleiben, hängt aber vom eingesetzten Erkundungsverfahren und von der Erkundungstiefe ab. Auch Verfahren nach dem Stand von W+T können selbst bei angemessener Erkundungstiefe Einschränkungen hinsichtlich ihrer Aussagekraft aufweisen. In dem dadurch „definierten“ Unsicherheitsbereich können Merkmale übersehen werden. Diese Frage erfordert zwingend eine systematische Auseinandersetzung; der Eintrag „Annahmen über etwaige unerkannte Merkmale wären spekulativ und sind daher in einer systematischen Szenarienanalyse abzulehnen“ wird dem nicht gerecht. Vielmehr sind die Genauigkeit der Erkundungsverfahren und das Risiko, dass sicherheitsrelevante Merkmale übersehen wurden, zu diskutieren und ein Ausschluss des FEPs ggf. entsprechend zu belegen.
Es erscheint etwas überzogen, sich selbst den Stand von Wissenschaft und Technik zu testieren. Der nächste Satz im Punkt „Sachlage“ ist unverständlich, es sei denn, hier sollen im Voraus schon Nachforderungen abgelehnt werden.

Grundsätzlich gilt, dass das Systemverständnis zum Wirtsgestein gegeben ist. Damit sind Einlagerungsbereiche im Hauptsalz auswählbar, die die von der NEA angesprochenen „Unerkannten Merkmale“ nicht aufweisen. Anders als in Granit + Ton sind z. B. keine Klüfte in den Homogenbereichen des Hauptsalzes vorhanden. Laugentaschen sind an besondere strukturelle Salzstockbereiche und stratigraphische Abfolgen gebunden.
Hauptanhydritschollen sind mit Hilfe des Georadars zu erfassen. Kohlenwasserstoff-Vorkommen im Hauptsalz werden im Rahmen des neuen FEPs „Thermochemische Sulfatreduktion“ behandelt.
Der methodische Umgang mit Ungewissheiten werden detailliert in einem eigenen Bericht beschrieben.

Der Abschnitt „Weitere Informationen“ wurde wie folgt überarbeitet: „Zur Berücksichtigung von möglichen unerkannten Merkmalen und den sich daraus ergebenden Ungewissheiten werden im geologischen Standortmodell bezüglich der Lage von Schichtgrenzen zielgerichtet nur diejenigen Merkmale des Modells variiert, für die im Rahmen der möglichen Variationsbreite eine Sicherheitsrelevanz angenommen wird.

Eine solche Sicherheitsrelevanz wird angenommen für die Merkmale:
- Abstand des Einlagerungsbereichs von der Schichtgrenze z2 / z3,
- Größe von Hauptanhydritschollen,
- Abstand zwischen Hauptanhydritschollen.

Neben der Lage von Schichtgrenzen werden außerdem weitere Merkmale als sicherheitsrelevant eingeschätzt:
- Chemische Auflösung von Salzgesteinen insbesondere im Bereich des Salzspiegels (Subrosionsrate),
- Mechanische Abtragung von Salzgesteinen im Bereich des Salzspiegels,
- Salzaufstiegsrate,
- Kompressionstektonik,
- Kriechrate von Salz / Kompaktionsrate von Salzgrus,
- Potentielle Migrationspfade für Radionuklide im Bereich des Salzspiegels,
- Aufbau des Deck- und Nebengebirges,

- Klimatische Entwicklung.

Zu unerkannten Merkmale könnten beispielsweise die bei der bisherigen Erkundung nicht entdeckten Kohlenwasserstoff-Vorkommens im Hauptsalz gehören, da ihre Verteilung im Hauptsalz nach den vorliegenden Kenntnissen nur grob prognostizierbar ist.“

Der Abschnitt „Sachlage“ wurde neu formuliert: „Bei der Erkundung des Referenzstandortes werden unterschiedliche Erkundungsmethoden wie geologische Kartierungen, Probenahmen an Aufschlüssen, Bohrlochmessungen oder seismische Verfahren nach dem Stand von Wissenschaft und Technik angewendet. Das Ergebnis der Erkundung ist die geologische Standortbeschreibung mit dem geologischen Standortmodell. Aus dem Vergleich zwischen Prognosen und den bei der Erkundung angetroffenen Gegebenheiten wird gefolgert, dass die Zuverlässigkeit und Genauigkeit des geologischen Standortmodells hoch ist. Damit ist gewährleistet, dass bei der Auswahl der Homogenbereiche im Hauptsalz keine unerkannten Merkmale zu erwarten sind. Ungewissheiten zum bestehenden Systemverständnis werden in einem eigenständigen Bericht diskutiert, in Alternativszenarien behandelt und durch Konsequenzenrechnungen hinsichtlich ihrer Sicherheitsrelevanz beurteilt.“

Unter „Handhabung“ wird das FEP nunmehr für das Wirtsgestein berücksichtigt, da zur Zeit das Verteilungsmuster der Kohlenwasserstoff-Vorkommen im Hauptsalz noch nicht hinreichend bekannt ist.

2.2.12.02 Fehlinterpretierte Erkundungsergebnisse

IT: Begründung für bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit und Einwirkung auf ewB

Es wurde folgende Begründung eingefügt: „Durch die hohe Erkundungsdichte, dem guten Systemverständnis für das Wirtsgestein und der Maßnahmen zur Qualitätssicherung sind fehlinterpretierte Erkundungsergebnisse mit sicherheitsrelevanten Auswirkungen wenig wahrscheinlich. Das FEP muss daher insbesondere nicht für die Endlagerteilsysteme "Nahfeld" und "Strecken und Schächte" wegen der dort vorhandenen hohen Informationsdichte berücksichtigt werden.
Die aus möglichen Fehlinterpretationen resultierenden Ungewissheiten werden aber zur Prüfung der Robustheit des Endlagersystems außerhalb eines Referenzszenarios aufgegriffen und in Konsequenzenanalysen gesondert behandelt.“

RT: In der Definition wird der Begriff „Umgang mit Unsicherheiten“ vermisst. Wie richtig festgestellt, werden Fehlinterpretationen einerseits durch mangelnde Informationsqualität, andererseits durch den / die „Interpretierer“ verursacht, zusätzlich auch durch komplizierte Sachverhalte. Diesen Mängeln lässt sich durch intensive qualitätvolle und diversitäre Erkundung und durch Diversität von Fachmeinung bei der Interpretation begegnen…
Die Tatsache, dass die weitaus meisten der im FEP-Katalog angeführten geowissenschaftlichen Quellen mit Bezug zur Erkundung des Referenzstandorts von nur einer Institution stammen, könnte als Mangel an Diversität von Fachmeinungen bei der Befundinterpretation ausgelegt werden. Schon aus diesem Grund ist der Hinweis auf weitere Quellen erforderlich bzw. sinnvoll.

In den aufgeführten geowissenschaftlichen Quellen sind die Ergebnisse anderer Institutionen mit verarbeitet worden. Insofern kommt in den FEP-Beschreibungen indirekt eine große diversitäre wissenschaftliche Gemeinschaft zu Wort.

RT: Die unterschiedlichen Diktionen „ ist durch gute Aufschlusssituation gering“ und „Fehlinterpretationen sollen durch…“ sind anzugleichen. Die Aussage „(…) Ausmaß der Fehlinterpretation (…) ist gering“ bezieht sich nur auf einen Teil der Fehlermöglichkeiten.

Unter „Weitere Informationen“ wurde „…Fehler in der Datenarchivierung oder …“ gestrichen.

Im Abschnitt „Sachlage“ wurde der 1. Satz wie folgt neu formuliert: „Fehlinterpretationen von Erkundungsergebnissen sind durch die gute Aufschlusssituation wenig wahrscheinlich.“
Außerdem wurde folgender Text ergänzt: „Darüber hinaus steht mit der Entwicklung eines geologischen 3D-Modells für den Referenzstandort ein leistungsfähiges Interpretations- und Prognoseinstrument zur Verfügung. Abweichungen zwischen Prognose und den Ergebnissen der Erkundung waren bislang minimal und hatten keine Sicherheitsrelevanz. Dies wird auch dadurch unterstützt, dass das Verständnis des Systems Salzstock besonders gut ist.“

RT: Die Aussage „mögliche Auswirkungen am Standort sind minimal“ bedarf der Erklärung.

Der 1. Satz des Abschnitts „Standortspezifische Auswirkungen“ wurde geändert: „Mögliche Auswirkungen am Standort sind nicht zu erwarten, ….“

Im Punkt „Bemerkungen (Begründung)“ wurden folgender Text eingefügt: „Durch die hohe Erkundungsdichte, dem guten Systemverständnis für das Wirtsgestein und der Maßnahmen zur Qualitätssicherung sind fehlinterpretierte Erkundungsergebnisse mit sicherheitsrelevanten Auswirkungen nicht wahrscheinlich. Das FEP muss daher insbesondere nicht für die Endlagerteilsysteme "Nahfeld" und "Strecken und Schächte" wegen der dort vorhandenen hohen Informationsdichte berücksichtigt werden. Die aus möglichen Fehlinterpretationen resultierenden Ungewissheiten werden aber zur Prüfung der Robustheit des Endlagersystems im Rahmen von Alternativszenarien aufgegriffen und in der Konsequenzenanalyse gesondert berücksichtigt.“

2.2.13.01, 2.3.01-06.01, 2.3.10-13.01

RT: FEPs werden nach Auskunft des ISIBEL-Teams gestrichen. Einzelaspekte werden unter Referenzbiosphäre / Menschliche Handlungen behandelt. Daher erfolgt an dieser Stelle keine Kommentierung dieser FEPs.

IT: Zwei der genannten „Biosphären-FEPs“ sind im ISIBEL-FEP-Katalog verblieben, da sie auch für die Entwicklung der Geosphäre relevant sind (s.u.).
Entfallen sind außerdem die Biosphären-FEPs 2.3.07 (Atmosphäre), 2.3.08. (Vegetation) und 2.3.09 (Tiere).

2.3.01.01 Topographie und Morphologie (Neuer Titel)

IT: Titel geändert

Der Titel wurde wie folgt geändert „**Topografie**“

IT: Begründung eingefügt.

Es wurden Begründungen für die Einstufungen des FEP bezüglich der „Bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit“, der „Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren“ und der „Handhabung“ eingefügt.

Das FEP wird als eine Randbedingung eingestuft und im Gegensatz zu den meisten anderen der Rubrik "Surface Environment" im ISIBEL-FEP-Katalog beschrieben, da es auch für viele andere Prozesse bedeutsam ist, die nicht den Biosphärenprozessen zuzuordnen sind. Die ursprüngliche Version des FEPs wurde in großem Umfang überarbeitet.

IT: Änderung der Definition

Die Definition wurde wie folgt geändert: „Als Topografie wird die Beschreibung der Ausgestaltung der Erdoberfläche verstanden. Die Oberflächengestalt entsteht durch das Zusammenwirken von endogenen und exogenen Kräften.“

2.3.04.01 Oberflächengewässer

IT: Begründung eingefügt.

Es wurden Begründungen für die Einstufungen des FEP bezüglich der „Bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit“, der „Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren“ und der „Handhabung“ eingefügt.

Entsprechend Erläuterung FEP 2.3.01.01 1. Satz (s. o.).

3.1.01.01 Radioaktiver Zerfall

RT: Da ein einziges Neutron ausreichen würde, um eine Kritikalität auszulösen, ist die Aussage „Emittierte Neutronen beeinflussen die Kritikalität des radioaktiven Inventars“ nicht richtig.

Die entsprechende Passage wurde entfernt.

RT: Auch die Erhöhung der Gesamtaktivität durch Tochternuklide ist nur im Einzelfall gegeben. Die Überarbeitung des Textes wird empfohlen.

Die „Standortspezifischen Auswirkungen“ wurden überarbeitet. Dabei wurde berücksichtigt, dass die Erhöhung der Gesamtaktivität bei einem Zerfallsprozess eher eine Ausnahme ist und nur beim Zerfall von U-238 eine Rolle spielt.

3.1.04.01 Gasförmige Radionuklide (ist entfallen)

IT: Das FEP wurde aus dem FEP-Katalog entfernt: Die Inhalte aus „Sachlage am Referenzstandort“ und „Allgemeine Informationen und Beispiel“ wurden zum FEP „Inventar: Radionuklide“ verschoben. Der Inhalt aus „Standortspezifische Auswirkungen“ wurde zum FEP „Radionuklidtransport in der Gasphase“ verschoben.

Durch die Aufteilung der Inhalte des FEP auf die anderen beiden FEPs kann der FEP-Katalog weiter vereinfacht werden. In Teil C des FEP-Kataloges wurde ein Hinweis hinzugefügt, in welchen FEPs die Inhalte zu „Gasförmigen Radionukliden“ zu finden sind.

RT: C-14 ist ebenfalls relevant für Langzeitbetrachtungen ebenso wie I-129.

I-129 ist – wenn es in der Gasphase vorliegt – genau wie C-14 relevant für Langzeitbetrachtungen. Dieser Aspekt wurde bei „Sachlage am Referenzstandort“ ergänzt. Da davon ausgegangen wird, dass I-129 im Gegensatz zu C-14 aber nicht in der Gasphase vorliegen wird, ist es nicht zu betrachten. Diese Aussage ist aber noch nicht abschließend geklärt. Daher wurde dieser Aspekt unter „Offene Fragen, Forschungsbedarf“ aufgenommen.

RT: Neben der ungestörten Entwicklung sollte auch die gestörte Entwicklung thematisiert werden.

Die Standortspezifischen Auswirkungen wurden neu überarbeitet und um diesen Aspekt erweitert.

RT: Die Barrierenschwächung durch Gasinfiltration sollte kommentiert werden.

Das vorliegende FEP handelt von den (zu betrachtenden) gasförmigen Radionukliden in einem Endlager. Die Auswirkungen der Gasbildung, der Transportes von Gasen und damit auch der Infiltration von Gasen in die Barrieren werden an anderer Stelle beschrieben.

Der Inhalt aus „Sachlage am Referenzstandort“ wurde zu „Allgemeine Informationen und Beispiel“ verschoben.

Die in der ersten Version des FEP-Kataloges gemachten Aussagen sind eher allgemein gehalten. Die „Sachlage am Referenzstandort“ wurde gemäß den obigen Anmerkungen des Reviews überarbeitet.

3.1.05.01 Radioaktive organische Spezies (ist entfallen)

IT: Das FEP wurde aus dem FEP-Katalog entfernt:

Die Inhalte aus „Sachlage am Referenzstandort“, „Allgemeine Informationen und Beispiel “Standortspezifische Auswirkungen“ wurden zum FEP „Inventar: Organika“ verschoben.

Durch das Verschieben der Inhalte des FEP auf den anderen FEP kann der FEP-Katalog weiter vereinfacht werden. In Teil C des FEP-Kataloges wurde ein Hinweis hinzugefügt, in welchen FEPs die Inhalte zu „Radioaktiven organischen Spezies“ zu finden sind.

RT: C-14 ist sicher relevant für die Langzeitsicherheitsanalyse, nicht aber H-3.

Dieser Aspekt wurde bei „Sachlage am Referenzstandort“ deutlicher herausgestellt.

RT: Aussagen zu Organojodverbindungen fehlen.

Die organischen Iodverbindungen wurden als zu betrachtende radioaktive organische Spezies ergänzt.

3.2.01.01 Radionuklid-Quellterm (ist entfallen)

IT: Das FEP Radioklid-Quellterm ist entfallen und mit dem FEP Radionuklid-Mobilisierung zusammengelegt.

Die Radionuklid-Mobilisierung und der Begriff "Radionuklid-Quellterm" sind zu unterscheiden: Die Mobilisierung beschreibt den Übergang in die wässrige Lösung oder in die Gasphase, der Quellterm berücksichtigt darüber hinaus die vom geochemischen Milieu abhängige Rückhaltung durch Ausfällung und Sorption. Diese Unterscheidung ist aber im wesentlichen in der Modellierung dieser Sachverhalte begründet. Beide Aspekte werden im ISIBEL-FEP-Katalog im FEP Radionuklid-Mobilisierung zusammen behandelt (s.u.).

RT: Leider wird hier nur unveröffentlichte Literatur herangezogen.

Die Literaturliste wurde erweitert und darauf geachtet mehr veröffentliche Zitate hinzuzufügen. Die Literatur ist im neuen FEP-Katalog beim FEP „Radionuklid-Mobilisierung“ zu entnehmen.

RT: Aussagen über den Einfluss von Redoxbedingungen fehlen.

Siehe Ergänzungen beim FEP „Radionuklid-Mobilisierung“.

3.2.01.02 Radionuklid-Mobilisierung

RT: Die Definition ist fragwürdig.

Die Unterscheidung zwischen „Radionuklid-Mobilisierung“ und "Radionuklid-Quellterm" wurde im neuen zusammengefassten FEP deutlich gemacht: Die Mobilisierung beschreibt den Übergang in die wässrige Lösung oder in die Gasphase, der Quellterm berücksichtigt darüber hinaus die vom geochemischen Milieu abhängige Rückhaltung durch Ausfällung und Sorption.

RT: Die angeführte Literatur ist nicht aktuell.

Die Literaturliste wurde erweitert und darauf geachtet mehr veröffentliche Zitate hinzuzufügen.

RT: Die Radionuklid-Mobilisierung beeinflusst nicht das geochemische Millieu.

Diese Aussage ergibt sich aus den Einträgen der Abhängigkeiten. Hier ist in der Tat das „Geochemische Milieu im Grubengebäude“ als beeinflusstes FEP angegeben. Der Eintrag hier gibt nicht den Grad der Beeinflussung an. Eine prinzipielle, wenn auch geringe Beeinflussung besteht aber.

RT: Der Fluiddruck spielt eine vernachlässigbare Rolle.

Diese Aussage ergibt sich aus den Einträgen der Abhängigkeiten. Hier ist in der Tat der „Fluiddruck“ als beeinflussendes FEP angegeben. Der Eintrag hier gibt nicht den Grad der Beeinflussung an. Eine prinzipielle, wenn auch geringe Beeinflussung besteht aber.

RT: Der Einfluss von Redoxbedingungen wird nicht diskutiert.

Wurde im neu bearbeiteten Text sehr viel deutlicher herausgearbeitet. In den Abhängigkeiten durch den Eintrag des „Geochemisches Milieu im Grubenbau“ als beeinflussendes und beeinflusstes FEP gegeben.

IT: Bei der Überarbeitung wurde darauf geachtet, eine bessere Übereinstimmung mit dem FEP Matrixkorrosion zu erreichen.

Die Matrixkorrosion ist ein wesentlicher Prozess der Radionuklid-Mobilisierung. Es wurde daher versucht, eine bessere Abgrenzung zu erreichen bzw. bei Überschneidungen der Erläuterungen entsprechende Hinweise hinzuzufügen (siehe auch Diskussion Radionuklid-Mobilisierung / Radionuklid-Quellterm).

IT: Forschungsbedarf wurde aufgenommen.

Der in BUHMANN et al. (2008) genannte Forschungsbedarf hinsichtlich der Mobilisierung von abgebrannten Brennelementen aus Hochtemperatur- und Forschungsreaktoren wurde aufgenommen.

3.2.02.01 Chemische Speziation (ist entfallen)

RT: Das Verständnis der chemischen Speziation bedarf der Überarbeitung. Die Spezies in einem chemischen System beeinflussen z. B. Lösungs-Fällungs-Reaktionen, Komplexierungsprozesse, die Wechselwirkungen von anderen Stoffen mit Radionukliden, die Transportmechanismen und die Gasbildung.

Die Diskussion im Review hat deutlich gemacht, dass ein eigenständiges FEP „Chemische Speziation“ nicht notwendig ist, sondern im Gegenteil zu Begriffsverwirrungen führt. Das FEP wird daher ersatzlos gestrichen, alle wesentlichen Aspekte werden im FEP „Geochemisches Milieu im Grubenbau“ beschrieben.

3.2.03.01 Sorption, Desorption

IT: Titel wurde geändert: Sorption und Desorption.

Es wurde vereinbart, keine Satzzeichen in den Titeln zu verändern. Werden zwei Sachverhalte in einem FEP zusammengefasst, wird ein „und“ eingefügt, wenn beide Prozesse parallel ablaufen bzw. ein „oder“ eingefügt, wenn sich beide Prozesse ausschließen.

RT: Die Definition das Verständnis zur Sorption, Desorption bedarf der Überarbeitung. Sorption ist eine Sammelbezeichnung für Vorgänge, die zu einer Anreicherung eines Stoffes innerhalb einer Phase oder auf einer Grenzfläche zwischen zwei Phasen führen.

Die Definition wurde im neuen FEP-Katalog allgemeiner gehalten. Grundlage war die Definition in Lehrbüchern, z.B. MATSCHULLAT et al. (1997).

RT: Die angeführte Literatur ist nicht aktuell.

Die Literatur wurde überarbeitet, z.B. ALTMAIER et al. (2004).

3.2.04.01 Kolloide

RT: Die Aussage „…. Während Huminstoffe bei geringen Ionenstärken weitgehend stabil sind, sind Eigenkolloide bei hohen Ionenstärken stabil“ ist unverständlich. Der Text bedarf der Überarbeitung.

Die „Allgemeinen Informationen und Beispiele“ wurden neu bearbeitet. Dabei wurde vor allem deutlicher auf den Unterschied zwischen Pseudokolloiden und Eigenkolloiden eingegangen.

RT: Es fehlen die im Salz relevanten Mg-OH-Cl Kolloide (Sorelphasen). Diese dürften als einzige in Salzlösungen für einige Zeit stabil sein (nicht geladen).

Dieser Aspekt wurde bei „Sachlage am Referenzstandort ergänzt und in der Literatur zitiert (KIENZLER et al. 2004).

IT: Definition wurde geändert: Kolloide sind Feststoffteilchen in Flüssigkeiten mit einem Durchmesser von 1 bis 1.000 nm.

Es wurde „... in Flüssigkeiten ...“ ergänzt, um die Definition zu konkretisieren.

Die „Standortspezifischen Auswirkungen“ wurden ergänzt.

Bei den „Standortspezifischen Auswirkungen“ wurde auf die Bedeutung des kolloidalen Transportes für schwer lösliche Radionuklide mit starken Sorptionseigenschaften hingewiesen.

3.2.05.01 Komplexbildung

RT: Die Komplexierung mit einem der wichtigsten Liganden im wässrigen System OH- fehlt.

Die Komplexierung mittels Hydroxiden wurde ergänzt.

RT: Die Aussage „durch Komplexbildung werden Radionuklide an einen Komplex gebunden, und damit dem Lösungs-Fällungs-Gleichgewicht entzogen...“ ist falsch.

Die entsprechende Passage wurde überarbeitet.

3.2.07.02 Advektion

RT: Der erste und zweite Satz des Punktes „Weitere Informationen“ sollten gestrichen werden, da sie nicht zur Klärung beitragen.

Die Anmerkung wurde umgesetzt. Die beiden Sätze wurden gestrichen.

RT: Im verbleibenden Text ist der Begriff „Abstandsgeschwindigkeit“ durch „tatsächliche Geschwindigkeit“ oder „Bahngeschwindigkeit“ zu ersetzen.

Es wird im neuen Text nur von der „Geschwindigkeit des Transportmediums“ gesprochen, um Begriffe, die nicht bei der Erläuterung der Sachverhalte weiterhelfen, möglichst zu vermeiden.

RT: Die Literaturangaben sollten verbessert werden.

Die gegebene Definition stützt sich auf MARTIN & ERBLMAIER (2000) und MÜLLER (1999). Die angegebenen Literaturstellen wurden ergänzt.

3.2.07.03 Konvektion

RT: Die Literaturangaben sollten verbessert werden (vgl. Anmerkungen in Abschnitt 3.3 des vorliegenden Berichts).

Die gegebene Definition stützt sich auf MARTIN & ERBLMAIER (2000) und BEAR (1972). Die angegebene Literaturstelle wurde ergänzt.

3.2.07.04 Diffusion

IT: Die Literaturangaben wurden ergänzt.

Im Review wurde gefordert, die gegebenen Definitionen durch Literaturzitate zu belegen. Die gegebene Definition für Diffusion stützt sich auf MARTIN & ERBLMAIER (2000) und MÜLLER (1999). Die angegebenen Literaturstellen wurden ergänzt.

3.2.07.05 Matrixdiffusion

RT: Der Begriff „Matrix“ sollte bereits in der Definition erwähnt werden, schließlich ist er namensgebend.

Neue Definition: Als Matrixdiffusion bezeichnet man den diffusiven Übergang von gelösten Stoffen aus Bereichen, in denen advektiver Transport dominiert, in eine Matrix mit immobilen Porenwässern.

RT: Im Abschnitt „Weitere Informationen“ sollten die Aussagen aus standortspezifische Auswirkungen zu Verzögerung des Transports und zur Konzentrationsverringerung außerhalb der Matrix und die mögliche Sorption eingeführt werden, außerdem, sollte erwähnt werden, dass sowohl Diffusion in die Matrix als auch Sorption (teilweise) reversible Vorgänge sind. Der Begriff Transportverzögerung bedarf dabei möglicherweise der Erläuterung.

Der Text aus „Standortspezifische Auswirkungen“ wurde nach „Weitere (neu allgemeine) Informationen und Beispiele verschoben und um die angesprochenen Aspekte ergänzt.

RT: Der Begriff „vergleichsweise undurchlässig“ ist zu ersetzen.

Der Begriff wurde durch den Term „geringdurchlässig“ ersetzt.

RT: Matrixdiffusion spielt bei allen Substraten eine Rolle, bei denen Bereiche mit unterschiedlicher Porosität und überwiegend advektivem Transport bzw. überwiegend diffusions-dominiertem Transport vorhanden sind.

Der vorgeschlagene Passus wurde bei „Sachlage am Referenzstandort“ ergänzt.

RT: Wenn Radionuklide in die Matrix diffundieren, führt dies (je nach Definition des Begriffs „Verzögerung“) auf jeden Fall zu Verzögerung und Konzentrationsverringerung. Das gilt im Übrigen auch für nicht sorbierte Stoffe. Diese Aspekte sind allerdings nicht standortspezifisch, sondern Charakteristika von Matrixdiffusion.

Die „Standortspezifische Auswirkungen“ wurden neu beschrieben (s.o.). Die Auswirkungen sind allgemein beschrieben, standortspezifisch ist ihre Ausprägung. Dieser Aspekt wurde ergänzt.

RT: Die Angabe in „Handhabung: Nahfeld“ steht im Widerspruch zu den Ausführungen in „Sachlage am Referenzstandort“.

Dem Vorschlag wurde gefolgt und Matrixdiffusion auch im Nahfeld als „berücksichtigt“ vermerkt.

IT: Die Literatur wurde ergänzt.

Es wurden einige Zitate für Matrixdiffusion in Ton und Granit hinzugefügt. Für Salz sind keine weiteren Veröffentlichungen bekannt.

3.2.07.06 Mechanische Dispersion

RT: Es fehlt der Hinweis, dass mechanische Dispersion Advektion voraussetzt.

Nein, dieser Aspekt steht bei weitere Informationen und Beispiele. In der neuen Version des FEP-Kataloges wurde dieser Satz prominenter positioniert.

RT: Unterschiedliche Dispersion in Ausbreitungsrichtung (longitudinal) und senkrecht dazu (transversal) ist eher die Regel.

Satz wurde aus der Definition zu „Allgemeine Informationen und Beispiele“ verschoben und um den genannten Aspekt erweitert.

RT: Die mechanische Dispersion spielt auch in künstlichen Systemen eine Rolle, sofern darin Advektion stattfindet.

Der entsprechende Satz wurde umformuliert.

RT: Die Formulierung „Die Dispersion bewirkt ein Auseinanderziehen von Radionuklidverteilungen und trägt somit zum Radionuklidtransport bei“ ist missverständlich.

Der entsprechende Satz wurde umformuliert.

3.2.07.07 Sonstige Transportprozesse in der flüssigen Phase

RT: Die in Frage kommenden Prozesse sind nicht vollständig erfasst (z. B. Osmose). Die Relevanz von Prozessen wie z. B. Thermoosmose, Chemoosmose, Elektroosmose, Sorêt-Effekt sollte diskutiert und ggf. argumentativ ausgeschlossen werden.

Gekoppelte Transportprozesse wie thermische oder chemische Osmose wurden in das FEP aufgenommen.

RT: Die Vermischung von Definition / Kurzbeschreibung mit Bewertung („keine Relevanz“) ist zu vermeiden.

Die Bewertung wurde zu „Weitere (neu: Allgemeine) Informationen und Beispiele“ verschoben.

RT: Die Aussagen „beim gegenwärtigen Stand der Wissenschaft keine Relevanz“ und „nicht völlig ausschließen lassen“ passen unerläutert nicht zueinander.

Die Bewertung „keine Relevanz“ und der daraus entstandene Widerspruch wurden aus der Definition entfernt.

RT: Mikroben beeinflussen die Eigenschaften von Oberflächen, das geochemische Millieu, etc; als Transportvehikel besonders im Steinsalz sind sie irrelevant.

Der Transport vom Radionukliden mittels Mikroben wurde aus dem FEP-Katalog entfernt.

RT: Die Aussage „Eintrittswahrscheinlichkeit: nicht zu betrachten“ steht im Widerspruch mit den anderen Aussagen.

Auf Grund des neuen Inhalts des FEPs wurde die bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit von „nicht zu betrachten“ auf „wahrscheinlich“ geändert.

IT: Die Literaturquellen wurden ergänzt.

Die Literaturzitate beziehen sich vor allem auf die Proceedings der GEOVAL 1987, z.B. MARTIN & ERBLMAIER (1988) und CARNAHAN (1988), und eine Untersuchung gekoppelter Transportprozesse für den Opalinuston (SOLER 1999).

3.2.08.01 Feststoffgebundener Radionuklidtransport

IT: mit FEP „Absinken von Abfallgebinden“ zusammengefasst.

Da das FEP 2.1.07.09 „Absinken von Abfallgebinden“ wird inhaltlich durch das FEP 3.2.08.01 „Feststoffgebundener Radionuklidtransport“ abgedeckt wird, wurden die FEPs zusammengefasst und das FEP 2.1.07.09 ist entfallen. Die Beschreibungen dieses FEP wurden daher in das FEP „Feststoffgebundener Radionuklidtransport“ übernommen.

IT: Begründung eingefügt.

Es wurden Begründungen für die Einstufungen des FEP bezüglich der „Bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit“, der „Einwirkung auf die Funktion einschlusswirksamer Barrieren“ und der „Handhabung“ eingefügt.

IT: Änderung der FEP-Beschreibungen.

Nach Zusammenfassung des FEP mit dem FEP „Absinken der Abfallgebinde“ wurden die FEP-Beschreibungen überarbeitet.

RT: Die Konsistenz der Aussage „…Aufwärtsbewegung der Salzgesteine ist mit durchschnittlich 0,02 mm/Jahr (20 m im Nachweiszeitraum…“ und der Aussage unter Sachlage am Referenzstandort bei FEP 1.2.09.01 Diapirismus („Im Zentrum des Salzstockes werden die mobileren Salzgesteine um einen größeren Betrag angehoben und können im Nachweiszeitraum insgesamt 70 m höher gelegt werden“) ist zu überprüfen. Gegebenenfalls sind die Konsequenzen für die Beurteilung „…keine neuen integritätsrelevanten Einschränkungen“ (oder das Fehlen von Konsequenzen) darzustellen.

Der 2. Absatz des Abschnitts „Sachlage“ wurde wie folgt geändert: „Die Aufwärtsbewegung der Salzgesteine im Bereich der Einlagerungssohle wird mit durchschnittlich 0,07 mm/Jahr (entspricht 70 m für den Nachweiszeitraum, s. FEP Diapirismus) basierend auf den Zeitraum Miozän bis rezent angegeben. Wenn dieser Wert für den Nachweiszeitraum extrapoliert wird, ist eine dadurch bedingte Höherlegung des Einlagerungsbereiches mit neuen integritätsrelevanten Einschränkungen wenig wahrscheinlich. Die Höherlegung erfolgt im Verbund mit dem umgebenden Hauptsalz, wobei keine Änderungen der im Zuge des früheren Salzaufstiegs geprägten Wirtsgesteinseigenschaften zu erwarten sind.“

Im Abschnitt „Auswirkungen“ wurden der letzte Satz des 1. Absatzes und der letzte Absatz. ergänzt: „Ein nennenswerter Absenkungsbetrag wird für den Betrachtungszeitraum nicht erwartet.“
„Wenn die Abfälle durch einen Salzaufstieg geringfügig um 70 m höher gelegt werden, ergeben sich keine sicherheitsrelevante Veränderungen bezüglich der Einlagerungsumgebung, da die Abfälle weiterhin von Hauptsalz umgeben sind.“

4. Literatur

ALTMAIER, M.; BRENDLER, V.; BOSBACH, B.; KIENZLER, B.; MARQUARDT, C.; NECK, V. & RICHTER, A.: Sichtung, Zusammenstellung und Bewertung von Daten zur geochemischen Modellierung. - Institut für Nukleare Entsorgung (INE) Forschungszentrum Karlsruhe, Abschlussbericht, FZK-INE 002/04, Karlsruhe, 2004.

BAUER, G. (1991): Kryogene Klüfte in norddeutschen Salzdiapiren ?- Zbl. Geol. Paläont., I/4: 1247-1261; Stuttgart.

BEAR, J. (1972): Dynamics of Fluids in Porous Media. – Dover Publication, Inc; New York,.

BECKER, A. (2003): Beitrag zur Erstellung einer Referenzbiosphäre zur Berechnung der in der Nachbetriebsphase eines Endlagers für radioaktive Stoffe hervorgerufenen potentiellen Strahlenexposition unter Berücksichtigung des Einflusses des Klimas.- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz BMU - 2003-623; Bonn.

BORNEMANN, O.; BEHLAU, J.; FISCHBECK, R.; HAMMER, J.; JARITZ, W.; KELLER, S.; MINGERZAHN, G. & SCHRAMM, M (2008).: Standortbeschreibung Gorleben Teil 3 - Ergebnisse der über- und untertägigen Erkundung des Salinars. Geologisches Jahrbuch Reihe C, Band C 73, Hannover.

BUHMANN, D.; MÖNIG, J. & WOLF, J. (2008): Untersuchung und Ermittlung von Freisetzungsszenarien – Teilbericht zum Projekt ISIBEL: "Überprüfung und Bewertung des Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HAW". Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-233, Braunschweig,.

CARNAHAN. C.L. (1988): Effects of coupled thermal hydrological and chemical processes on nuclide transport. In: Proceedings of GEOVAL 1987, Symposium in Stockholm, April 7-9, 1987, SKI; Stockholm.

DUPHORN, K., KABEL, C., SCHNEIDER, U. & SCHRÖDER, P. (1983): Quartärgeologische Gesamtinterpretation Gorleben, Abschl.-Bericht Univ. Kiel.-- Univ. Kiel (PTB-Bestell-Nr. 73760; BGR-Archiv-Nr. 103 714): 265 S.; Kiel.

FRATER, H. (2005): Phänomene der Erde. Landschaftsformen.- 1. Aufl.: 247 S.; Berlin (Springer).

KAESCHE, H. (1990): Die Korrosion der Metalle: Physikalisch-chemische Prinzipien und aktuelle Probleme. - 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin.

KELLER, S. (2007): Langzeitsicherheitsanalyse für ein HAW-Endlager im Salz. Geologisches Referenzmodell für einen HAW-Endlagerstandort im Salz. Beitrag für das Projekt ISIBEL.- BGR, unveröffentl. Ber. (überarbeitete Vers. v. 31.12.2005); Hannover.

KIENZLER, B.; SCHLIEHER, M.; BAUER, A., METZ, V.& MEYER, H. (2004): Langzeit Auslaug- und Korrosionsexperimente an zementierten 1:1 Gebinden in der Schachtanlage Asse. - Institut für Nukleare Entsorgung (INE) Forschungszentrum Karlsruhe, Wiss. Bericht, FZKA 7059, Karlsruhe.

KLINGE, H.; BOEHME, J.; GRISSEMANN, C.; HOUBEN, G.; LUDWIG, R.-R.; RÜBEL, A., SCHELKES, K.; SCHILDKNECHT, F. & SUCKOW, A. (2007): Standortbeschreibung Gorleben Teil 1 – Die Hydrogeologie des Deckgebirges des Salzstocks Gorleben. Geologisches Jahrbuch Reihe C, Band C 71, Hannover.

KÖTHE, A.; HOFFMANN, N.; KRULL, P.; ZIRNGAST, M. & ZWIRNER, R. (2007): Standortbeschreibung Gorleben Teil 2 – Die Geologie des Deck- und Nebengebirges des Salzstocks Gorleben. Geologisches Jahrbuch Reihe C, Band C 72, Hannover.

MARSILY, G. DE, FARGUE, D. & GOBLET, P. (1988): How much do we know about coupled transport processes in the geosphere and their relevance to performance assessment ?. In: Proceedings of GEOVAL 1987, Symposium in Stockholm, April 7-9, 1987 SKI; Stockholm.

MARTIN, C. & ERBLMAIER, M. (Hrsg.) (2000): Lexikon der Geowissenschaften. – Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg.

MATSCHULLAT, J.; TOBSCHALL, H.J. & VOIGT, H.-J. (1997): Geochemie und Umwelt. Relevante Prozesse in Atmo-, Pedo- und Hydrosphäre. - 1. Auflage, Springer-Verlag, Berlin.

MÜLLER, T. (Hrsg.) (1999): Wörterbuch und Lexikon der Hydrogeologie. – Springer-Verlag; Berlin.

NIPP, H.K. & HEUSERMANN, S. (2000): Erkundungsbergwerk Gorleben. Gebirgsmechanische Beurteilung der Integrität der Salzbarriere im Erkundungsbereich EB 1 für das technische Endlagerkonzept 1 (Bohrlochlagerung, BSK 3). Ergebnisbericht.- BGR, unveröffentl. Bericht, 0120209, 45 S., 8 Tab., 92 Anl., Hannover.

POPP, T.; WIEDEMANN, M.; BÖHNEL, H.& MINKLEY, W. (2007): Untersuchungen zur Barriereintegrität im Hinblick auf das Ein-Endlager-Konzept. Abschlussbericht Forschungsvorhaben SR 2470, Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter.

RÜBEL, A. & MÖNIG, J. (2008): Gase in Endlagern im Salz – Workshop der GRS in Zusammenarbeit mit PTKA-WTE. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-242, Braunschweig.

SCHRAMM, M., KÜHNLENZ, T., MINGERZAHN, G. & HAMMER, J. (2009): Lösungen im Salzstock Gorleben - eine Dokumentation und genetische Interpretation -.-- BGR, unveröffentl. Ber.: 160 S.; Hannover.

SOLER, J.M. (1999): Coupled Transport Phenomena in the Opalinus Clay: Implications for Radionuclide Transport. – PSI Bericht Nr. 99-07, Villigen, Schweiz.