

FEP-Katalog für die VSG

• Konzept und Aufbau

Bericht zum Arbeitspaket 7

Vorläufige Sicherheitsanalyse
für den Standort Gorleben

Erstellt von:



FEP-Katalog für die VSG

- **Konzept und Aufbau**

Berichte zum Arbeitspaket 7

Vorläufige Sicherheitsanalyse
für den Standort Gorleben

Jens Wolf (GRS)
Joachim Behlau (BGR)
Thomas Beuth (GRS)
Guido Bracke (GRS)
Christiane Bube (KIT/INE)
Dieter Buhmann (GRS)
Christian Dresbach (BGR)
Jörg Hammer (BGR)
Siegfried Keller (BGR)
Bernhard Kienzler (KIT/INE)
Hans Klinge (BGR)
Jürgen Krone (DBE TEC)
Andree Lommerzheim (DBE TEC)
Volker Metz (KIT/INE)
Jörg Mönig (GRS)
Sabine Mrugalla (BGR)
Till Popp (IfG)
Andre Rübel (GRS)
Jan Richard Weber (BGR)

Juni 2012

Anmerkung:

Das FuE-Vorhaben UM10A03200 „Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben“ wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) durchgeführt.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei dem Auftragnehmer. Die hierin geäußerten Meinungen müssen nicht der Meinung des Auftraggebers entsprechen.

Vorbemerkung – veränderte Zielsetzungen des Projekts VSG (Stand: Dezember 2012)

Die Vorläufige Sicherheitsanalyse Gorleben (VSG) ist ein Forschungsvorhaben der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS). Sie übernimmt die wissenschaftliche und organisatorische Leitung des vom Bundesministerium geförderten Projektes und bearbeitet selbst den Hauptteil der Arbeitspakete.

Ursprüngliche Zielsetzung

In seiner ursprünglichen Konzeption wurden mit dem Projekt VSG im Wesentlichen drei Ziele verfolgt. Das erste Ziel bestand in der Erarbeitung einer systematischen Zusammenfassung des Kenntnisstands zu Gorleben. Darauf aufbauend sollte als zweites Ziel eine vorläufige Eignungsprognose erarbeitet werden. Diese Prognose sollte die Frage beantworten, ob und ggf. unter welchen Voraussetzungen am Standort Gorleben ein Endlager für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle betrieben werden könnte. Die Vorläufigkeit einer solchen Prognose ergibt sich dabei unter anderem zwangsläufig aus dem Umstand, dass eine endgültige Eignungsaussage nur nach einer vollständigen untertägigen Erkundung möglich ist, die in Gorleben nicht gegeben ist. Die dritte Zielsetzung der VSG bestand schließlich in der Identifizierung des noch bestehenden Bedarfs an Forschung und Entwicklung, also der standortspezifischen und standortunabhängigen Fragestellungen, die noch geklärt werden müssen.

Aktualisierte Zielsetzung

Nach Beginn des Projekts wurde im politischen Raum ein breiter Konsens darüber erzielt, dass der Standort eines zukünftigen Endlagers für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle durch einen Vergleich verschiedener Standorte im Rahmen eines mehrstufigen Auswahlverfahrens gefunden werden soll. Aus dieser grundsätzlichen Entscheidung ergibt sich, dass die Frage der Eignung eines Standorts zukünftig nur noch im Vergleich mit anderen beantwortet werden kann. „Geeignet“ in diesem Sinn wird damit der Standort sein, der verschiedene grundsätzliche und vergleichsspezifische Kriterien erfüllt und sich damit als der im Hinblick auf die Sicherheit vergleichsweise beste Standort darstellt. Da diese Kriterien heute noch nicht feststehen, kann eine vorläufige Prognose einer so verstandenen Eignung für den Standort Gorleben im Rahmen der VSG nicht erarbeitet werden.

Vor diesem Hintergrund hat die GRS im Einvernehmen mit dem Bundesumweltministerium (BMU) als dem Zuwendungsgeber der VSG die Projektziele den veränderten Rahmenbedingungen angepasst. Danach bleiben die systematische Zusammenfassung des bisherigen Kenntnisstands zu Gorleben und die Identifizierung des zukünftigen Forschungs- und Entwicklungsbedarfs weiterhin Ziele der VSG. Die Änderungen betreffen die nachfolgenden Punkte:

- Die ursprünglich angestrebte vorläufige Eignungsprognose für den Standort Gorleben wird nicht erarbeitet. Es wird geprüft, ob die im Vorhaben VSG entwickelten Endlagerkonzepte im Verbund mit der geologischen Barriere am Standort Gorleben oder einem hinsichtlich der geologischen Situation vergleichbaren Salzstandort aus heutiger Sicht geeignet erscheinen, die Sicherheitsanforderungen des BMU zu erfüllen.
- Ergänzt werden die bisherigen Projektziele um eine Untersuchung der Frage, welche methodischen Ansätze der VSG in einem zukünftigen Standortauswahlverfahren sinnvoll zum Vergleich von Endlagerstandorten eingesetzt werden können. Unabhängig von der konkreten Ausgestaltung des zukünftigen Standortauswahlverfahrens ist bereits heute absehbar, dass es im Verlauf eines solchen Verfahrens immer wieder erforderlich sein wird, den bis zu einem bestimmten Verfahrensschritt erreichten Wissensstand zu den einzelnen Standorten systematisch zusammenzufassen und zu bewerten.

- Außerdem soll über die ursprünglichen Zielsetzungen hinaus untersucht werden, welche der in der VSG entwickelten technischen Konzepte zur Einlagerung der radioaktiven Abfälle und zum Verschluss des Endlagerbergwerks übertragbar auf Endlagersysteme an Standorten mit anderen geologischen Gegebenheiten sind.

Aktualisierte Projektplanung

Durch den Ausstiegsbeschluss vom Mai 2011 hat sich die Prognose der zu erwartenden Gesamtmenge an wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen gegenüber jener, die zu Beginn des Projekts im Sommer 2010 anzunehmen war, erheblich verändert. Dies führte dazu, dass ein wesentlicher Teil der bis Mai 2011 durchgeführten Konzeptentwicklungen und Modellrechnungen mit den neuen Daten erneut durchgeführt und teilweise bereits fertiggestellte Teilberichte entsprechend durch aktualisierte Fassungen ergänzt werden mussten. Dieser zusätzliche Aufwand und die oben erwähnten Ergänzungen in der Zielsetzung der VSG führen dazu, dass das Projekt nicht – wie ursprünglich vorgesehen – Ende 2012 sondern Ende März 2013 abgeschlossen werden kann.

Projektpartner

Da für die Bearbeitung der VSG spezialisiertes Fachwissen unterschiedlicher Disziplinen notwendig ist, sind neben der GRS verschiedene Partner in das Projekt eingebunden. Dazu zählen: Dr. Bruno Baltes, die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), die DBE TECHNOLOGY GmbH (DBE TEC), das Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik der TU Clausthal (TUC), das Institut für Endlagerforschung der TU Clausthal (TUC), das Institut für Gebirgsmechanik GmbH (IfG), das Institut für Sicherheitstechnologie (ISTec), das Karlsruher Institut für Technologie/Institut für Nukleare Entsorgung (KIT/INE), die international nuclear safety engineering GmbH (nse; mehrere Institute der RWTH Aachen) sowie das Institut für Atmosphäre und Umwelt (IAU) der Universität Frankfurt.

Arbeitspakete

Die Übersicht der Arbeitspakete (AP) der vorläufigen Sicherheitsanalyse Gorleben (VSG) umfasst:

- AP 1: Projektkoordination
- AP 2: Geowissenschaftliche Standortbeschreibung und Langzeitprognose
- AP 3: Abfallspezifikation und Mengengerüst
- AP 4: Sicherheits- und Nachweiskonzept
- AP 5: Endlagerkonzept
- AP 6: Endlagerauslegung und -optimierung
- AP 7: FEP-Katalog
- AP 8: Szenarienentwicklung
- AP 9: Integritätsanalysen
- AP 10: Analyse Freisetzungsszenarien
- AP 11: Bewertung Human Intrusion
- AP 12: Bewertung der Betriebssicherheit
- AP 13: Bewertung der Ergebnisse
- AP 14: Empfehlungen

Deskriptoren:

Datenbank, FEP, FEP-Katalog, Gorleben

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Zielsetzungen des FEP-Kataloges.....	5
3	Vorgehensweise bei der Erstellung des FEP-Kataloges.....	7
3.1	Grundlage der Systemanalysen.....	7
3.2	Informationen für die Szenarientwicklung.....	8
3.2.1	Bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit.....	11
3.2.2	Wirkung in den Teilsystemen.....	13
3.2.3	Beeinträchtigung der Funktion der Initial-Barrieren	14
3.2.4	Abhängigkeiten zwischen den FEP.....	15
3.3	FEP-Screening	16
3.4	Transparenz und Nachvollziehbarkeit.....	16
3.5	Identifizierung offener Fragen	17
3.6	Nicht berücksichtigte FEP	17
3.7	Organisation der FEP in einer Datenbank.....	19
4	Aufbau der FEP-Einträge	21
4.1	Definition/Kurzbeschreibung	24
4.2	Allgemeine Informationen und Beispiele	24
4.3	Sachlage am Standort	24
4.4	Standortspezifische Auswirkungen	25
4.5	Zeitliche Beschränkung.....	25
4.6	Bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit.....	25
4.7	Wirkung in den Teilsystemen.....	26

4.8	Beeinträchtigung der Funktion der Initial-Barrieren	27
4.9	Begründungen zu 4.6 bis 4.8	28
4.10	Direkte Abhängigkeiten.....	28
4.11	Offene Fragen	31
4.12	Literaturquellen.....	31
5	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	33
6	Entwicklungsmöglichkeiten für zukünftige Sicherheitsanalysen	39
	Literaturverzeichnis.....	41
	Abbildungsverzeichnis.....	45
	Tabellenverzeichnis.....	47
A	Anhang: Zuordnung der innerhalb der VSG identifizierten FEP zum NEA-FEP-Katalog FEP.....	49

1 Einleitung

Die zwei wesentlichen Ziele bei der Endlagerung von wärmeentwickelnden hochradioaktiven Abfällen in tiefen geologischen Formationen sind der dauerhafte Schutz von Mensch und Umwelt vor der ionisierenden Strahlung und sonstigen schädlichen Wirkungen dieser Abfälle und die Vermeidung unzumutbarer Lasten und Verpflichtungen für zukünftige Generationen /BMU 10/. In einem Langzeitsicherheitsnachweis wird mit Hilfe quantitativer numerischer Analysen mit der Berechnung von verschiedenen Indikatorwerten sowie auf der Basis qualitativer Argumente die langfristige Einhaltung der Schutzziele dargelegt und die Sicherheit des Endlagers über einen Nachweiszeitraum von 1 Million Jahre begründet. Die Vorgehensweise beim Langzeitsicherheitsnachweis für die vorläufige Sicherheitsanalyse Gorleben (VSG) ist im Sicherheits- und Nachweiskonzept /MÖN 12/ dargelegt. Dabei sind neben der jetzigen Situation am Standort zukünftig mögliche Entwicklungen des Endlagersystems zu berücksichtigen. Voraussetzungen für einen Langzeitsicherheitsnachweis sind daher die Kenntnis des Anfangszustandes sowie Vorstellungen zur zukünftigen geologischen und klimatischen Entwicklung am Standort Gorleben und von den von der Auslegung und Konzeption des Endlagers abhängigen Wirkungen der eingelagerten Abfälle auf das Endlagersystem.

International ist es in Endlagerprojekten ein etabliertes Vorgehen, die wissenschaftliche Beschreibung des Anfangszustandes und das Verständnis der Faktoren, die die zukünftige Entwicklung eines Endlagersystems beeinflussen, u. a. durch eine Zusammenstellung von Merkmalen, Ereignissen und Prozessen (nach /AND 89/ als Features, Events and Processes, kurz FEP bezeichnet) zu dokumentieren /ISI 10/:

- Merkmale sind dabei Bedingungen oder Gegebenheiten, durch die ein bestimmtes System oder Teilsystem zu einem Zeitpunkt charakterisiert ist, wie z. B. das Radionuklidinventar oder die Porosität des Versatzes.
- Ereignisse sind Vorgänge und Veränderungen, die über einen sehr kleinen Zeitraum im Vergleich zum Nachweiszeitraum eintreten, d. h. kurzzeitige Phänomene sind, z. B. Erdbeben oder menschliche Eingriffe im Bereich des Endlagers.
- Prozesse sind Vorgänge und Veränderungen, die über einen nennenswerten Zeitraum im Vergleich zum Nachweiszeitraum ablaufen, d. h. lang andauernd sind, wie z. B. Konvergenz, Diapirismus oder der Zerfall langlebiger Radionuklide.

Eine Zusammenstellung solcher Merkmale, Ereignisse und Prozesse, die in ihrer Gesamtheit den Wissensstand zu einem Standort repräsentieren sollen, wird als FEP-Katalog bezeichnet. Wegen der Bedeutung der Zusammenstellung von FEP für den Sicherheitsnachweis hat auf internationaler Ebene die NEA eine FEP-Datenbank aufgebaut und darauf basierend ein allgemeines Schema für die Anordnung der FEP in einem Katalog abgeleitet /NEA 00/. Dieses Schema basiert auf Erfahrungen aus verschiedenen Endlagerprojekten mit unterschiedlichen Abfallspezifikationen und Wirtsgesteinstypen und bietet sich als Ausgangspunkt für die Erstellung von standortspezifischen FEP-Katalogen an. Es soll für die VSG zudem als Referenz dienen, um auf eine möglichst umfassende Berücksichtigung der nach Stand von Wissenschaft und Technik für ein Endlagersystem relevanten FEP hinzuwirken.

Im Rahmen des FuE-Vorhabens ISIBEL /ISI 08/ wurde bereits aufbauend auf dem Schema der NEA erstmals ein FEP-Katalog für die Endlagerung ausgedienter Brennelemente und anderer wärmeentwickelnder hochradioaktiver Abfälle in einem Salzstock am Beispiel eines generischen Standortes in der norddeutschen Tiefebene erstellt. Als Vorlage für die Beschreibung dieses Standortes diente der Salzstock Gorleben auf Grund der dafür vorhandenen umfangreichen Daten. Der im Vorhaben ISIBEL erstellte FEP-Katalog wurde bereits während der Laufzeit des Vorhabens einem externen Review unterzogen /RÖH 09/ und danach überarbeitet /ISI 10/. Die Zielsetzung der beteiligten Institutionen bestand in der Erstellung eines FEP-Kataloges, der einen Ausgangspunkt für die Erstellung eines FEP-Kataloges im Rahmen eines zukünftigen Safety Case darstellen kann.

Im Rahmen der VSG wurden die Liste der FEP und die Struktur und Inhalte der 112 FEP des ISIBEL-FEP-Kataloges systematisch hinterfragt und entsprechende Überarbeitungen und Ergänzungen vorgenommen. Neben den Erkenntnissen aus dem Vorhaben ISIBEL wurden dabei auch Anmerkungen aus dem Review des ISIBEL-FEP-Kataloges berücksichtigt, die im Rahmen des Vorhabens ISIBEL nicht umgesetzt werden konnten.

Auch wenn sich der ISIBEL-FEP-Katalog auf die vorhandene Datenlage am Standort Gorleben bezieht, mussten umfangreiche inhaltliche Arbeiten am FEP-Katalog vorgenommen werden, um den FEP-Katalog für die VSG erstellen zu können:

1. Da der ISIBEL-FEP-Katalog für ein generisches Endlagerkonzept erstellt wurde, sind alle FEP, die sich auf das Endlagerkonzept beziehen, überarbeitet bzw. neu

erstellt worden, z. B. die FEP *Schachtverschlüsse* und *Streckenverschlüsse*. Da in der VSG drei Einlagerungsvarianten berücksichtigt werden, ergaben sich weitere Anforderungen an die Überarbeitung des FEP-Kataloges, z. B. die Aufnahme neuer Behältertypen.

2. Der ISIBEL-FEP-Katalog hat die Endlagerung ausgedienter Brennelemente aus dem Brennstoffkreislauf bei der Kernenergienutzung sowie der Abfälle aus der Wiederaufarbeitung berücksichtigt. Brennelemente aus Forschungsreaktoren sowie vernachlässigbar wärmeentwickelnde Abfälle, wie z. B. *Urantails*, waren nicht Gegenstand des ISIBEL-FEP-Kataloges. Dies erforderte die Aufnahme neuer FEP, z. B. *Verhalten von graphithaltigen Materialien und Uran tails*, bei der Erstellung des FEP-Kataloges für die VSG.
3. Die Rückholbarkeit der Abfälle war ebenfalls nicht Gegenstand des Endlagerkonzeptes, das dem ISIBEL-FEP-Katalog zu Grunde lag. Für die Einlagerungsvariante Bohrlochlagerung mussten daher zwei neue FEP aufgenommen werden, die auch Auswirkungen auf die Nachverschlussphase haben: *Bohrlochverrohrung* und *Ausfall einer Bohrlochverrohrung*.
4. Einige geologische Aspekte, die in der öffentlichen Wahrnehmung eine besondere Rolle spielen, wurden in der VSG stärker herausgestellt und als eigenständige FEP beschrieben: *Glaziale Rinnenbildung*, *Bildung kryogener Klüfte* (vorher im FEP *Vollständige Inlandvereisung*) und *Kohlenwasserstoffvorkommen im Wirtsgestein* (vorher *Fluide im Wirtsgestein*).
5. Die Begründungen für getroffene Einschätzungen wurden im FEP-Katalog der VSG dokumentiert.

Einige Aspekte, die im ISIBEL-FEP-Katalog als FEP beschrieben worden sind, werden im FEP-Katalog für die VSG anders behandelt. Dies betrifft insbesondere das FEP *Unerkannte Merkmale* (siehe Kapitel 3.6). Wenn inhaltlich möglich wurden auch FEP aus dem ISIBEL-FEP-Katalog zusammengefasst, z. B. die FEP *Konvektion* und *Strömungsvorgänge im Grubengebäude* (jetzt in einem FEP *Strömungsvorgänge im Grubengebäude*).

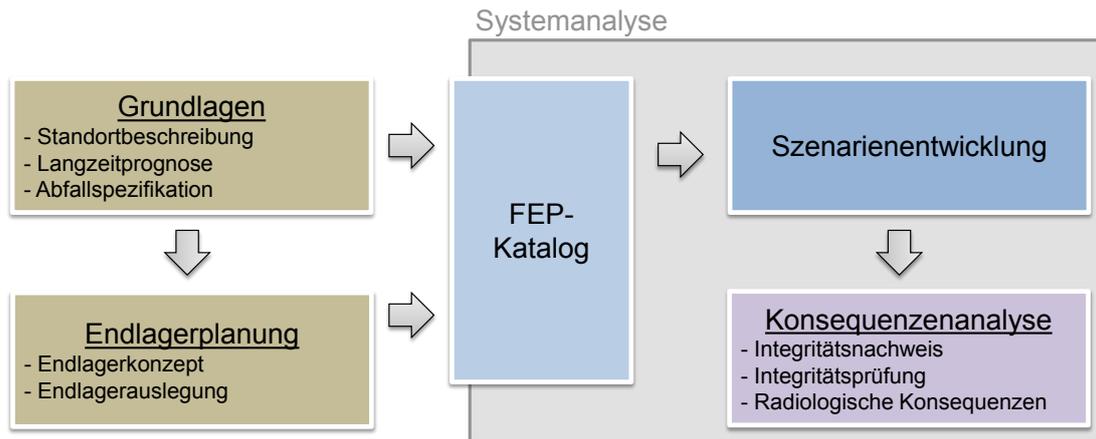


Abb. 1.1 Stellung des FEP-Kataloges in der VSG

Der im Rahmen der VSG erstellte FEP-Katalog dokumentiert die für den Standort Gorleben identifizierten FEP und bildet das Bindeglied zwischen den Grundlagen (Standortbeschreibung, geowissenschaftliche Langzeitprognose und Abfallspezifikation), dem Endlagerkonzept und der Systemanalyse (Abb. 1.1).

Der FEP-Katalog ist als Datenbank angelegt, in der die Beschreibungen der FEP enthalten sind. Die Inhalte der Datenbank werden als separater technischer Bericht innerhalb der VSG veröffentlicht /WOL 12/. Dieser Bericht ist auf einer CD-ROM dem vorliegenden Bericht beigelegt. Der vorliegende Bericht dient dazu, die Struktur und Inhalte des FEP-Kataloges (sowohl des technischen Berichtes als auch der Datenbank) zu verdeutlichen. Er erläutert die Ziele (Kapitel 2) und die Vorgehensweise bei der Erstellung des FEP-Kataloges (Kapitel 3), beschreibt den Aufbau der FEP-Einträge in der Datenbank bzw. im technischen Bericht (Kapitel 4) und fasst die wesentlichen Erkenntnisse der Arbeiten im Rahmen der Erstellung des FEP-Kataloges zusammen (Kapitel 5). In Kapitel 6 wird aufgezeigt, welche Entwicklungsmöglichkeiten es für den FEP-Katalog der VSG für zukünftige Sicherheitsanalysen gibt. Im Anhang A wird durch einen Abgleich mit dem allgemeinen FEP-Anordnungsschema der NEA gezeigt, dass alle dort genannten Einflussfaktoren betrachtet worden sind oder begründet, warum einzelne Kategorien in diesem allgemeinen Anordnungsschema nicht im FEP-Katalog für den Standort Gorleben berücksichtigt werden müssen.

2 Zielsetzungen des FEP-Kataloges

Der FEP-Katalog liefert in systematischer Form die notwendigen Informationen für die im Rahmen der VSG durchzuführenden Systemanalysen. Mit der Erstellung des FEP-Kataloges werden folgende Ziele verfolgt:

1. Ausgehend von der Standortbeschreibung /KLI 07/, /KÖT 07/, /BOR 08/, der geowissenschaftlichen Langzeitprognose /MRU 11/ sowie der Abfallspezifikation /PEI 11/ und dem Endlagerkonzept /BOL 11/, /BOL 12/, /MÜL 12/ liefert der FEP-Katalog eine wissenschaftliche Darstellung der Merkmale, die den Anfangszustand des Endlagersystems zu Beginn der Nachverschlussphase charakterisieren sowie der Ereignisse und Prozesse, die in einem derartigen Endlagersystem zukünftig ablaufen können. Der FEP-Katalog soll dabei über die Zusammenfassung der für die Langzeitsicherheit wesentlichen Inhalte dieser Berichte hinausgehen und den Zusammenhang zwischen Standortgegebenheiten und -entwicklungen und den aus der Einlagerung radioaktiver Abfälle resultierenden Bedingungen und Prozessen aufzeigen (Kapitel 3.1). Der FEP-Katalog stellt damit die **Grundlage für die im Rahmen der VSG durchzuführenden Systemanalysen dar**.
2. Die im Rahmen der VSG erstellte Methodik zur Ableitung von Szenarien /BEU 12a/, die bezüglich der Langzeitsicherheit untersucht und bewertet werden müssen, sieht vor, dass durch den FEP-Katalog grundlegende **Informationen für die Szenarientwicklung** bereitgestellt werden. So werden im FEP-Katalog z. B. die Abhängigkeiten zwischen den FEP und ihren Funktionen ausgewiesen. Die entsprechenden Informationen sollen nachvollziehbar dokumentiert sein (Kapitel 3.2). Der FEP-Katalog übernimmt somit die Funktion eines Verbindungselementes zwischen den Grundlagen, dem Endlagerkonzept und der Szenarientwicklung (Abb. 1.1).
3. Ein weiteres Ziel des FEP-Kataloges ist es, diejenigen FEP, die für die Systementwicklung am Standort nicht von Bedeutung sind, zu identifizieren und die Gründe für diese Einschätzung zu dokumentieren. Solche FEP können für die weitere Betrachtung im Rahmen der Szenarientwicklung ausgeschlossen werden (**FEP-Screening**, Kapitel 3.3).
4. Durch die systematische Zusammenstellung (inkl. zahlreicher Literaturhinweise) der relevanten Merkmale, Ereignisse und Prozesse, die das Endlagersystem bestimmen, soll der FEP-Katalog einen Beitrag zur **Transparenz und Nachvollzieh-**

barkeit wichtiger Grundlagen des Langzeitsicherheitsnachweises leisten (Kapitel 3.4).

5. Letztendlich soll der FEP-Katalog auch zur **Identifizierung offener Fragen** beitragen, die im Rahmen weiterer FuE-Arbeiten noch geklärt werden müssen bzw. denen im Verlaufe einer Weitererkundung des Standortes Gorleben nachzugehen wäre (Kapitel 3.5).

3 Vorgehensweise bei der Erstellung des FEP-Kataloges

Ausgangspunkt bei der Erstellung des FEP-Kataloges sind die in Kapitel 2 definierten fünf Ziele. In den Kapiteln 3.1 bis 3.5 wird für jedes dieser Ziele einzeln erläutert, wie es bei der Umsetzung des FEP-Kataloges berücksichtigt wurde, d. h. welche Informationen der FEP-Katalog dafür bereitstellen muss. Kapitel 3.6 begründet, welche FEP im FEP-Katalog nicht berücksichtigt wurden. Kapitel 3.7 beschreibt, in welcher Weise die notwendigen Informationen zu den FEP in einer Datenbank erfasst werden.

Inhalt des FEP-Kataloges sind alle für ein Endlager am Standort Gorleben während der Nachverschlussphase möglicherweise stattfindenden oder ablaufenden FEP. Als Referenz dafür, dass alle im internationalen Kontext verwendeten FEP berücksichtigt wurden, dient das FEP-Schema der NEA (siehe Anhang A).

3.1 Grundlage der Systemanalysen

Um den Zustand des Endlagersystems am Standort Gorleben und die Ereignisse und Prozesse in einem derartigen Endlagersystem darstellen zu können, werden folgende Informationen zu jedem FEP abgelegt:

- eine Definition bzw. Kurzbeschreibung,
- allgemeine Informationen und Beispiele,
- die Sachlage am Standort Gorleben,
- die Auswirkungen des FEP im Endlagersystem,
- mögliche zeitliche Beschränkungen des FEP sowie die
- Zusammenstellung relevanter Literaturhinweise.

Der vorliegende FEP-Katalog nimmt bei der Beschreibung der identifizierten FEP an vielen Stellen Bezug auf die Berichte zur Standortbeschreibung, zur geowissenschaftlichen Langzeitprognose, zur Abfallspezifikation, zum Endlagerkonzept und zum Sicherheits- und Nachweiskonzept. Diese Unterlagen wurden im Rahmen der Erkundung des Standortes Gorleben oder im Vorhaben VSG erarbeitet. In diesen Berichten finden sich über die Angaben im FEP-Katalog hinausgehende Informationen, auf deren Darstellung in den FEP-Beschreibungen im Interesse der Übersichtlichkeit verzichtet wurde,

sofern dies nicht der Nachvollziehbarkeit insbesondere der Szenarientwicklung entgegen stand. Andererseits ergibt sich aus den in Kapitel 2 definierten weiteren Zielen (Zielsetzungen 2 bis 5) die Notwendigkeit, zusätzliche Informationen in die FEP-Beschreibungen aufzunehmen. Die Art dieser Informationen wird in den folgenden Kapiteln erläutert.

3.2 Informationen für die Szenarientwicklung

Gemäß den in Kapitel 2 dargelegten Zielen sollen die FEP-Einträge über eine rein inhaltliche Beschreibung hinausgehen und auch für die Szenarientwicklung grundlegende Informationen bereitstellen.

Eine Szenarientwicklung ist notwendig, da trotz umfangreicher Kenntnisse der verschiedenen Einflussfaktoren die tatsächliche Entwicklung des Endlagersystems für den Nachweiszeitraum nicht belastbar in allen Einzelaspekten und Details prognostiziert werden kann. So sind Zeitpunkte und Ausprägungen bestimmter zukünftiger Ereignisse am Standort Gorleben nicht eindeutig bestimmbar. Die daraus resultierende Ungewissheit bezüglich der tatsächlichen Entwicklung des Endlagersystems kann durch weitere Erkundungs- und Forschungsarbeiten nur in einem begrenzten Maße verringert werden. Aus diesem Grund wird gemäß dem Sicherheits- und Nachweiskonzept /MÖN 12/ auf Basis einer systematischen Analyse relevanter Einflussfaktoren eine begrenzte Anzahl schlüssiger Zukunftsbilder entworfen. Dies geschieht mit Hilfe einer Szenarientwicklung, deren Ziel die Identifizierung, ausführliche Beschreibung und Auswahl von Szenarien zur möglichen Entwicklung des Endlagersystems ist, die für eine zuverlässige Beurteilung seiner Sicherheit nach dessen Stilllegung relevant sind. Die im Vorhaben VSG abgeleiteten Szenarien stellen Abstraktionen zukünftiger Entwicklungen des Endlagersystems dar. Sie können nur einen bestimmten Zeitbereich oder nur einen Teil des Endlagersystems betreffen. Die Gesamtheit der in der Szenarientwicklung abgeleiteten Szenarien soll die Ungewissheiten bezüglich der tatsächlichen Entwicklung des Endlagersystems abdecken.

Das im Vorhaben VSG entwickelte Sicherheitskonzept /MÖN 12/ basiert auf einigen Leitgedanken. So soll ein möglichst weitgehender Einschluss der radioaktiven Abfälle in einem definierten Gebirgsbereich um die Abfälle herum erreicht werden. Der Einschluss soll dabei sofort erfolgen und dauerhaft sichergestellt sein. Gewährleistet werden soll dies durch ein gestaffeltes Barrierensystem, dessen einzelne Elemente zum

Teil diversitär und redundant wirken und die sich in ihrer zeitlichen Wirksamkeit ergänzen. Um die Entwicklungsmöglichkeiten des Endlagersystems umfassend abzubilden, setzt die Szenarienentwicklung an zwei Punkten an, die sich aus diesen Leitgedanken ergeben /BEU 12a/:

- Der sofortige und dauerhafte Einschluss der radioaktiven Abfälle in einem definierten Gebirgsbereich um die Abfälle soll vorrangig dadurch erreicht werden, dass ein Kontakt von Lösungen mit den Abfällen verhindert oder zumindest stark begrenzt wird. Als erster Ansatzpunkt für die Ableitung von Szenarien dienen daher die FEP, die eine direkte Beeinträchtigung der Funktion der Initial-Barrieren¹ haben (Initial-FEP).
- Neben den Barrieren, die einen Zutritt von Lösungen zu den Abfällen verhindern sollen und deren Barrierenwirksamkeit bereits zu Beginn der Nachverschlussphase vollständig entwickelt ist, müssen die Entwicklungsmöglichkeiten betrachtet werden, die sich daraus ergeben, dass Radionuklide aus den Abfällen freigesetzt werden, ohne dass es zu einem Kontakt der Abfälle mit von außen zugetretenen Lösungen gekommen ist. Der zweite Ansatzpunkt für die Szenarienentwicklung ist deshalb die Betrachtung der FEP, die die Radionuklidmobilisierung und –freisetzung sowie den Radionuklidtransport betreffen.

Neben den Initial-Barrieren tragen weitere Barrieren zum dauerhaften Einschluss der Radionuklide im einschlusswirksamen Gebirgsbereich bei, indem sie zu einem späteren Zeitpunkt den Zutritt von Lösungen zu den Abfällen (z. B. Salzgrusversatz) oder in dem sie die Freisetzung von Radionukliden aus dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich verhindern bzw. behindern (z. B. Salzgrusversatz und Abfallmatrix). Die zeitliche Veränderungen der Wirksamkeit dieser weiteren Barrieren sowie eine mögliche Beeinträchtigung ihrer Funktion durch im Endlagersystem ablaufende Prozesse werden durch entsprechende FEP und ihre Ausprägungen und Einwirkungen durch andere FEP berücksichtigt und im Rahmen der Szenarienentwicklung erfasst.

Ein weiteres wichtiges Merkmal der in der VSG verwendeten Methodik zur Szenarienentwicklung ist die Unterscheidung zwischen Referenzszenarium und Alternativszenarien.

¹ Definition erfolgt in Kapitel 3.2.3

Das Referenzszenarium beschreibt eine möglichst große Gesamtheit als wahrscheinlich anzusehender, möglicher Entwicklungen des Endlagersystems. Es ergibt sich unter vorher festgelegten Annahmen aus der Kombination der wahrscheinlichen FEP mit direkter Beeinträchtigung der Funktion der Initial-Barrieren und den FEP, die die Mobilisierung von Radionukliden aus den Abfällen und ihren Transport bestimmen. Zu Grunde gelegt wird die wahrscheinliche Ausprägung dieser FEP, die sich in der Regel aus den wahrscheinlichen Ausprägungen der kausal mit ihnen verbundenen wahrscheinlichen FEP ergibt.

Alternativszenarien beschreiben weniger wahrscheinliche oder im Referenzszenarium nicht erfasste wahrscheinliche, mögliche Entwicklungen des Endlagersystems. Auf der Basis der FEP werden Alternativszenarien abgeleitet:

- aus der Betrachtung von weniger wahrscheinlichen Ausprägungen
 - der wahrscheinlichen FEP mit direkter Beeinträchtigung der Funktion Initial-Barrieren und
 - der FEP, die die Radionuklidmobilisierung und den Radionuklidtransport bestimmen sowie
- aus der Betrachtung von weniger wahrscheinlichen FEP.

Die in der Szenarienentwicklung angewandte Methodik erfordert somit nicht nur die Verfügbarkeit der in Kapitel 3.1 beschriebenen Informationen, sondern macht darüber hinaus auch folgende weitere Angaben für jedes FEP notwendig:

- Zuordnung der FEP zu einer bestimmten Klasse der **bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit** („wahrscheinlich“, „weniger wahrscheinlich“ oder „nicht zu betrachten“)
- Aussage zur **Wirkung** der FEP im Endlagersystem
- Kennzeichnung von FEP, die eine direkte **Beeinträchtigung der Funktion der Initial-Barrieren** des Endlagersystems verursachen oder zur Folge haben können und
- die vollständige Darstellung der direkten **Abhängigkeiten zwischen den FEP**, die für die Entwicklung des Endlagersystems zu berücksichtigen sind.

3.2.1 Bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit

Der FEP-Katalog macht eine qualitative Aussage zur **bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit**, d. h. zu der Wahrscheinlichkeit, mit der ein FEP unter der Bedingung eintritt, dass die für sein Eintreten notwendigen Voraussetzungen am Standort vorliegen bzw. mit Sicherheit zu erwarten sind. So bildet die Anwesenheit von Lösungen eine wichtige Voraussetzung für die Korrosion von Metallen. Wenn es zu einem Kontakt von Metallen mit Wasser kommt, laufen Korrosionsprozesse ab. Die bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit des FEP *Metallkorrosion* ist wahrscheinlich, unabhängig davon, ob es bei einem bestimmten Szenarium tatsächlich zu einem Kontakt von Lösungen mit Metallen im Endlager kommt. Ob und in welchem Umfang Metallkorrosion im Endlager auftritt, wird erst im Rahmen der Systemanalyse ermittelt.

Die bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit ist trotz begrifflicher Nähe nicht gleichzusetzen mit den Wahrscheinlichkeitsklassen („wahrscheinlich“, „weniger wahrscheinlich“ oder „unwahrscheinlich“), die in /BMU 10/ festgelegt sind. Bei der Zuordnung der FEP zu diesen Wahrscheinlichkeitsklassen nach /BMU 10/ wird in der Szenarienentwicklung zusätzlich die Ausprägung des FEP verwendet.

Die **Ausprägung** sagt aus, in welcher Intensität das jeweilige FEP auftritt. Dabei kann es sich um eine qualitative Beschreibung oder um einen quantitativen Wert bzw. Wertebereich handeln. FEP können verschiedene Ausprägungen aufweisen, die den Wahrscheinlichkeitsklassen „wahrscheinlich“, „weniger wahrscheinlich“ bzw. „unwahrscheinlich“ zugeordnet werden können oder die sich aus der jeweils betrachteten Systementwicklung ergeben.

- Wenn möglich, sind im FEP-Katalog Ausprägungen in Verbindung mit Angaben zu ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit aufgeführt. Für das FEP *Subrosion* sind beispielsweise Wertebereiche für Subrosionsraten angegeben, die als „wahrscheinlich“ einzustufen sind, während höhere Werte als „weniger wahrscheinlich“ und sehr viel höhere Werte als „unwahrscheinlich“ anzusehen sind.
- Bei manchen FEP kann eine Ausprägung angegeben werden, eine Zuordnung zu einer Wahrscheinlichkeitsklasse ist aber nicht möglich. Dies hängt oft damit zusammen, dass die Datenlage für eine solche Zuordnung nicht ausreicht. In diesen Fällen wird für das FEP im Referenzszenarium eine repräsentative Ausprägung angegeben. So wird beispielsweise im Referenzszenarium für das FEP *Erdbeben* das Bemessungserdbeben zu Grunde gelegt.

- Bei manchen FEP hängt deren Ausprägung von der jeweils betrachteten Entwicklungsmöglichkeit des Endlagersystems ab. Für solche FEP kann daher a priori keine wahrscheinliche, weniger wahrscheinliche oder unwahrscheinliche Ausprägung identifiziert werden. Die Ausprägung solcher FEP und die Wahrscheinlichkeit dieser Ausprägung ergeben sich durch die Beeinflussung über andere, kausal mit ihnen verbundene FEP und muss unter den jeweiligen Bedingungen des Szenariums erst ermittelt werden. So wird z. B. die Ausprägung des FEP *Fluiddruck* unter anderem von der Metallkorrosion, von der Konvergenz der Grubenbaue und von der Zersetzung von Organika bestimmt. Die tatsächliche Ausprägung bei einer betrachteten Systementwicklungsmöglichkeit kann vorab mittels Modellrechnungen oder durch Expertenurteil mit entsprechender Begründung abgeschätzt oder erst im Rahmen der Konsequenzenanalyse für das Szenarium ermittelt werden.

Wie aus der bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit der FEP und ihrer Ausprägung die Zuordnung zu den Wahrscheinlichkeitsklassen nach /BMU 10/ erfolgt, ist in Abb. 3.1 zusammengestellt. Die Bewertung der Ausprägung wird für alle Initial-FEP und die FEP zur Radionuklidmobilisierung und zum Radionuklidtransport abgeleitet.

FEP-Katalog				Wahrscheinlichkeitsklassen	
bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit		Ausprägung			
wahrscheinlich	weniger wahrscheinlich	wahrscheinlich	weniger wahrscheinlich	wahrscheinlich	weniger wahrscheinlich
X		X		X	
X			X		X
	X	X			X

Abb. 3.1 Ableitung von Wahrscheinlichkeitsklassen aus den Informationen im FEP-Katalog zur bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit und der Ausprägung

3.2.2 Wirkung in den Teilsystemen

In den unterschiedlichen Bereichen des Endlagersystems können die FEP in verschiedener Ausprägung relevant sein. Um die Ausprägung der FEP differenzieren zu können, werden die vier Teilsysteme des Endlagersystems „Nahfeld“, „Wirtsgestein“, „Strecken und Schächte“ sowie „Deck- und Nebengebirge“ betrachtet. Die Teilsysteme werden wie folgt definiert:

Das **Nahfeld** umfasst alle Einlagerungsstrecken bzw. Einlagerungsbohrlöcher mit allen darin enthaltenen Objekten und Materialien (Abfallgebinde, Versatz und technische Einbauten, z. B. Bohrlochverrohrung) inkl. der Auflockerungszone.

Mit **Strecken und Schächten** sind alle bergmännisch geschaffenen Hohlräume und Bohrungen mit allen darin enthaltenen Objekten und Materialien (z. B. Einbauten, Versatz, Verschlussbauwerke) inkl. Auflockerungszone gemeint, sofern sie nicht dem Nahfeld zuzuordnen sind. Zu den Strecken und Schächten werden auch die Auffahrungen der Erkundungssohle gezählt.

Das **Wirtsgestein** umfasst alle den Salzstock aufbauenden Gesteine zwischen der Salzstockbasis und dem Hutgestein abzüglich der bergmännisch geschaffenen Hohlräume und deren Auflockerungszonen.

Die den Salzstock überlagernden und lateral an ihn angrenzenden Sedimente zzgl. dem Hutgestein bilden das **Deck- und Nebengebirge**.

Die Wirkung in den Teilsystemen wird nur für wahrscheinliche und weniger wahrscheinliche FEP diskutiert. Einem FEP, dessen Eintrittswahrscheinlichkeit bereits „nicht zu betrachten“ ist, wird in keinem Teilsystem eine Wirkung zugeschrieben und gemäß Kapitel 3.2.1 nicht in der Szenarientwicklung betrachtet. Wird einem wahrscheinlichen oder weniger wahrscheinlichen FEP in allen Teilsystemen die Wirkung „nicht zu berücksichtigen“ zugeordnet, wird das FEP ebenfalls nicht in der Szenarientwicklung berücksichtigt (siehe Kapitel 3.3).

3.2.3 Beeinträchtigung der Funktion der Initial-Barrieren

Durch die Informationen zur Eintrittswahrscheinlichkeit und zur Handhabung der FEP kann die Anzahl der in der Szenarientwicklung zu berücksichtigenden FEP eingeschränkt werden. Abhängig von der verfolgten Methodik zur Szenarientwicklung kann sich aus den verbleibenden zu berücksichtigenden FEP eine unübersichtliche Anzahl von zu beschreibenden Szenarien ergeben. Um die Anzahl der Szenarien auf die für die Sicherheit des Endlagers relevanten Entwicklungen zu beschränken, dienen als ein Ansatzpunkt für die Ableitung von Szenarien die FEP mit einer direkten Beeinträchtigung der Initial-Barrieren (Initial-FEP) /BEU 12a/.

Eine **Initial-Barriere** ist eine Barriere, deren mögliche Funktionsbeeinträchtigung durch Prozesse oder Ereignisse ein Ansatzpunkt für die Entwicklung von Szenarien ist. Die Initial-Barrieren bilden eine Teilmenge der im Endlagersystem wirksamen Barrieren, die – teilweise nur in bestimmten Zeitbereichen – über unterschiedliche Schutzfunktionen direkt oder indirekt zum sicheren Einschluss der Radionuklide im einschlusswirksamen Gebirgsbereich beitragen /MÖN 12/.

Die Auswahl der Initial-Barrieren erfolgt, um für die gewählte methodische Vorgehensweise zur Szenarientwicklung die Ansatzpunkte identifizieren zu können.

In der VSG sind

- das Wirtsgestein,
- die Schachtverschlüsse,
- die Streckenverschlüsse und
- die Brennelement-Behälter

die Initial-Barrieren. Diese Barrieren dienen dazu, den Kontakt von wässrigen Lösungen mit den eingelagerten Abfällen und die Freisetzung von volatilen Radionukliden zu verhindern, wobei ihre diesbezügliche Barrierenwirksamkeit zu Beginn der Nachverschlussphase vollständig entwickelt ist. Darin unterscheiden sich die Initial-Barrieren von den anderen Barrieren (z.B. Salzgrusversatz), die im Endlagersystem wirksam sind.

Für jedes in der Szenarienentwicklung zu betrachtende FEP wird im FEP-Katalog angegeben, ob es eine bzw. mehrere dieser Barrieren beeinträchtigt (siehe auch Kapitel 4.8).

3.2.4 Abhängigkeiten zwischen den FEP

Die Ausprägungen und ggf. das Eintreten abhängiger FEP werden jeweils durch die mit ihnen direkt verbundenen FEP beeinflusst. Daher ist es im FEP-Katalog notwendig, die Abhängigkeiten der FEP untereinander darzustellen.

Um die Abhängigkeiten darzustellen, müssen zu jedem FEP einerseits die FEP benannt werden, die Einfluss auf das FEP haben, und andererseits diejenigen FEP, auf die das FEP Einfluss nimmt. Im FEP Katalog wird auf der Seite zwischen auslösenden FEP (FEP a) und beeinflussenden FEP (FEP b) und auf der anderen Seite zwischen resultierenden FEP (FEP c) und beeinflussten FEP (FEP d) unterschieden (Abb. 3.2). Die Aufteilung in auslösend und beeinflussend auf der Seite der einflussnehmenden FEP und in resultierend und beeinflusst auf der Seite der beeinflussten FEP wird durchgeführt, um die Möglichkeit zu haben, Ereignisabläufe darzustellen. Weitere Details und ein Beispiel aus dem FEP-Katalog zu den Abhängigkeiten werden in Kapitel 4.10 beschrieben.

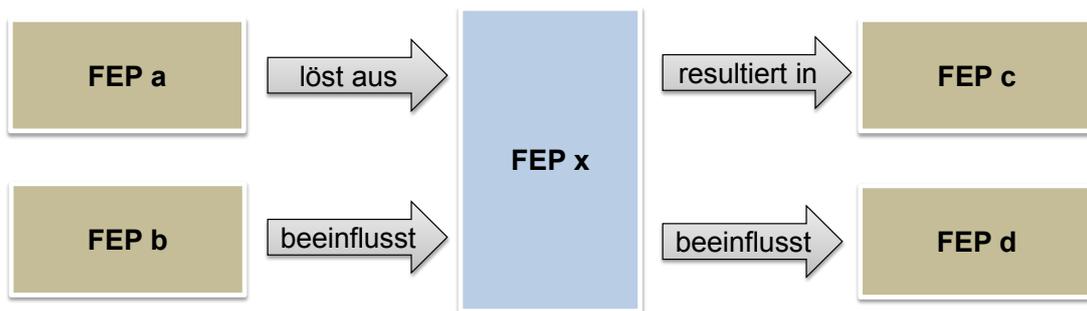


Abb. 3.2 Im FEP-Katalog berücksichtigte Abhängigkeiten der FEP

3.3 FEP-Screening

Innerhalb eines als FEP-Screening bezeichneten Arbeitsschrittes werden diejenigen FEP identifiziert, die in der Szenarientwicklung unberücksichtigt bleiben können.

Dies ist einerseits der Fall für FEP mit der bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit „nicht zu betrachten“ (siehe auch Kapitel 4.6). Andererseits können auch FEP mit der bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit „weniger wahrscheinlich“ oder „wahrscheinlich“ in der Szenarientwicklung übergangen werden, nämlich dann, wenn die Wirkung in allen vier Teilsystemen für den Standort Gorleben mit „nicht zu berücksichtigen“ angegeben ist (siehe auch Kapitel 4.7). In beiden Fällen sind entsprechende stichhaltige Begründungen anzugeben.

Beispielsweise wurde das FEP *Thermische Carnallitersetzung* in der Szenarientwicklung nicht berücksichtigt. Obwohl es sich um ein wahrscheinliches FEP handelt, wirkt es in keinem Teilsystem, da an keiner Stelle in den Carnallitfazies im Salzstock Temperaturen auftreten, die bei dem jeweiligen Spannungszustand des Carnallits ausreichen, um eine thermische Zersetzung dieses Minerals zu bewirken.

3.4 Transparenz und Nachvollziehbarkeit

Von besonderer Bedeutung für die Transparenz und Nachvollziehbarkeit des FEP-Kataloges ist die Zusammenstellung von Literaturhinweisen zu den FEP. Sie ist ein wesentlicher Bestandteil der wissenschaftlichen Beschreibung und Dokumentation des Zustandes des Endlagersystems am Standort Gorleben und der Ereignisse und Pro-

zesse in einem derartigen Endlagersystem. Dadurch kann gezeigt werden, welche wissenschaftlichen Beiträge berücksichtigt worden sind und welche letztendlich bei der Beschreibung der Auswirkungen eines FEP zugrunde gelegt wurden. Die angegebenen und diskutierten Literaturhinweise geben naturgemäß immer nur einen Ausschnitt der tatsächlich vorhandenen Literatur wieder. Durch die Dokumentation im FEP-Katalog sind aber die verwendeten Grundlagen transparent und nachvollziehbar dargestellt.

Die Beschreibung der einzelnen FEP erfolgt derart, dass die für die weitere Verwendung der FEP in der Szenarientwicklung erforderlichen Informationen sowie die für die Gewährleistung der Verfahrenstransparenz erforderlichen Angaben in übersichtlicher Weise angeordnet sind. Kapitel 4 erläutert ausführlich die Beschreibungen der FEP-Einträge. Alle für die Szenarientwicklung wichtigen Klassifizierungen der FEP, nämlich hinsichtlich der bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit, der Wirkung in den Teilsystemen, der Beeinträchtigung der Funktion der Initial-Barrieren sowie die Abhängigkeiten untereinander werden im FEP-Katalog begründet (Kapitel 4.9 und 4.10).

3.5 Identifizierung offener Fragen

Ein wesentliches Ziel der VSG ist die Identifizierung des noch notwendigen Untersuchungs- und Erkundungsbedarfs. Bei der Bearbeitung der FEP haben sich Aspekte ergeben, die im Detail noch besser untersucht werden sollten. Hier werden auch Fragestellungen genannt, die keinen FuE-Bedarf im eigentlichen Sinne darstellen, aber zu deren Beantwortung noch konkrete Arbeiten durchgeführt werden müssen. Die Identifizierung dieser offenen Fragen im FEP-Katalog liefert einen Beitrag zur Feststellung des zukünftigen Untersuchungs- und Erkundungsbedarfs für den Standort Gorleben sowie allgemeiner Fragestellungen für einen Endlagerstandort im Salz.

3.6 Nicht berücksichtigte FEP

Es gibt einige Einflussgrößen, die nicht im FEP-Katalog und der systematischen Szenarientwicklung enthalten sind (siehe auch Anlage A):

- Im vorliegenden FEP-Katalog sind keine FEP aufgeführt, die die **Vorgänge in der Biosphäre** direkt betreffen. Eine Bewertung der unterschiedlichen Transfer- und Transportprozesse für Radionuklide in der Biosphäre ist nur für die heute herr-

schen Bedingungen möglich. Eine belastbare Abschätzung ist für die Zukunft aus prinzipiellen Gründen nur für wenige nachfolgende Generationen möglich, da die Ernährungsgewohnheiten zukünftiger Generationen schwer zu prognostizieren sind. Deshalb sind Prozesse in der Biosphäre nicht Bestandteil der Szenarientwicklung, sondern werden durch die Allgemeine Verwaltungsvorschrift (AVV vom 21. Februar 1990) zur Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) geregelt /AVV 90/. Die Kapitel 2.4 (Human Behaviour) und 3.3 (Exposure Factors) des FEP-Anordnungsschemas der NEA /NEA 00/ sind aus diesem Grund nicht Gegenstand des FEP-Kataloges. Aus der FEP-Gruppe 2.3 (Surface Environment) werden nur die FEP berücksichtigt, die Auswirkungen auf die Entwicklung der Geosphäre haben.

- **Zukünftige menschliche Handlungen**, die die geologischen und geotechnischen Barrieren beeinträchtigen können, müssen im Sicherheitsnachweis berücksichtigt werden. Da es aber keine wissenschaftliche Grundlage für die systematische Ableitung solcher Handlungen gibt, müssen sie gesondert behandelt werden. Sie sind nicht Gegenstand des vorliegenden FEP-Kataloges, so dass die FEP-Gruppe 1.4 (Future Human Actions) des FEP-Anordnungsschemas der NEA hier nicht berücksichtigt wird. Die Bewertung unbeabsichtigten menschlichen Eindringens (Human Intrusion) nimmt eine Sonderstellung in der Langzeitsicherheitsanalyse ein. Sie ist nur mittels regulatorisch vorgegebener oder plausibel festgelegter stilisierter Szenarien möglich. Die Bewertung daraus resultierender Konsequenzen dient gemäß Sicherheitsanforderungen /BMU 10/ einer nachrangigen Konzeptoptimierung, die den Optimierungszielen gemäß Abschnitt 5.1 nicht entgegenstehen darf. Im Rahmen der VSG befasst sich der Bericht /BEU 12b/ mit den zukünftigen menschlichen Handlungen, der Schwerpunkt liegt auf der Bewertung eines unbeabsichtigten menschlichen Eindringens in das Endlager.
- **Unerkannte Merkmale** durch eine falsche geologische Interpretation von geologischen Erkundungsergebnissen sind ebenfalls nicht Gegenstand des FEP-Kataloges, da sie sich auf Grund ihrer Beliebigkeit einer objektiven Bewertung entziehen. Die Vorgehensweise in der Szenarientwicklung ermöglicht aber, auf diesen Aspekt im Rahmen von Alternativszenarien einzugehen /BEU 12a/.
- Der FEP-Katalog enthält auch keine FEP, die sich aus einer **Bergung der Abfälle** in der Nachverschlussphase ergeben könnten. Eine Bergung bedeutet gemäß /BMU 10/ die Rückholung radioaktiver Abfälle aus dem Endlager als Notfallmaßnahme. Es wird in den Sicherheitsanforderungen jedoch kein Konzept verlangt, wie zukünftige Generationen Abfälle bergen können. Insofern steht der Vorgang der

Bergung auch im Hinblick auf die Gewährleistung der Langzeitsicherheit (z. B. wenn Behälter nach der Bergung im Endlager verbleiben) in der Verantwortung der jeweiligen handelnden Gesellschaft. Folglich wird dieser Aspekt nicht im FEP-Katalog und den nachfolgenden Systemanalysen betrachtet werden.

- Gemäß Sicherheitsanforderungen /BMU 10/ wird davon ausgegangen, dass mit dem Nachweis des dauerhaften Schutzes von Mensch und Umwelt vor Schäden durch ionisierende Strahlen auch die Voraussetzungen zum Nachweis des Schutzes vor **sonstigen schädlichen Wirkungen der eingelagerten Abfälle** gegeben sind. Die Nachweise selbst sind jedoch nach den wasserrechtlichen Bestimmungen zu führen und entsprechende FEP sind nicht Gegenstand des FEP-Kataloges.

Generell sind im FEP-Katalog keine FEP aufgeführt, die allgemeine physikalische Größen darstellen. Dies gilt z. B. für die Temperatur, die viele physikalische und chemische Prozesse beeinflusst.

3.7 Organisation der FEP in einer Datenbank

Wie aus den vorangegangenen Kapiteln ersichtlich geworden, ist es auf Grund der vielfältigen Anforderungen an den FEP-Katalog notwendig, umfangreiche Informationen zu jedem FEP bereitzustellen:

- eine Definition bzw. Kurzbeschreibung,
- allgemeine Informationen und Beispiele,
- die Sachlage am Standort Gorleben,
- die Auswirkungen des FEP im Endlagersystem,
- mögliche zeitliche Beschränkungen des FEP,
- die bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit,
- die Wirkung in den Teilsystemen
- die Beeinträchtigung der Funktion der Initial-Barrieren,
- Begründungen zu den o. g. Aspekten,
- die direkten Abhängigkeiten zu anderen FEP,

- offene Fragen und
- Literaturquellen.

Um die fachliche Bearbeitung und Auswertung dieser Informationen zu erleichtern, wurden alle Informationen in einer Datenbank organisiert. Diese Datenbank verfügt über eine graphische Benutzeroberfläche, die die Möglichkeit bietet,

- Datensätze zu erstellen, zu bearbeiten und zu löschen,
- verschiedene Versionen von Datensätzen zu verwalten,
- einen Konsistenzcheck zwischen den Abhängigkeiten der FEP durchzuführen,
- eine Suchfunktion mit verschiedenen Suchkriterien zu starten und entsprechende Listen zu erstellen sowie
- Datensätze bzw. Datenlisten zu exportieren und zu drucken.

Das nachfolgende Kapitel erläutert im Detail die Einträge, die in der Datenbank zu jedem FEP gemacht werden können.

4 Aufbau der FEP-Einträge

Wie im vorangegangenen Kapitel erwähnt, sind alle Informationen zu den FEP in einer Datenbank abgelegt. Ein Auszug der Datenbank (Stichtag: 30.04.2012) ist auf einer CD-ROM diesem Bericht beigelegt /WOL 12/. In diesem Kapitel werden sowohl Aufbau der Datenbank als auch die Struktur des beigelegten Auszugs erläutert.

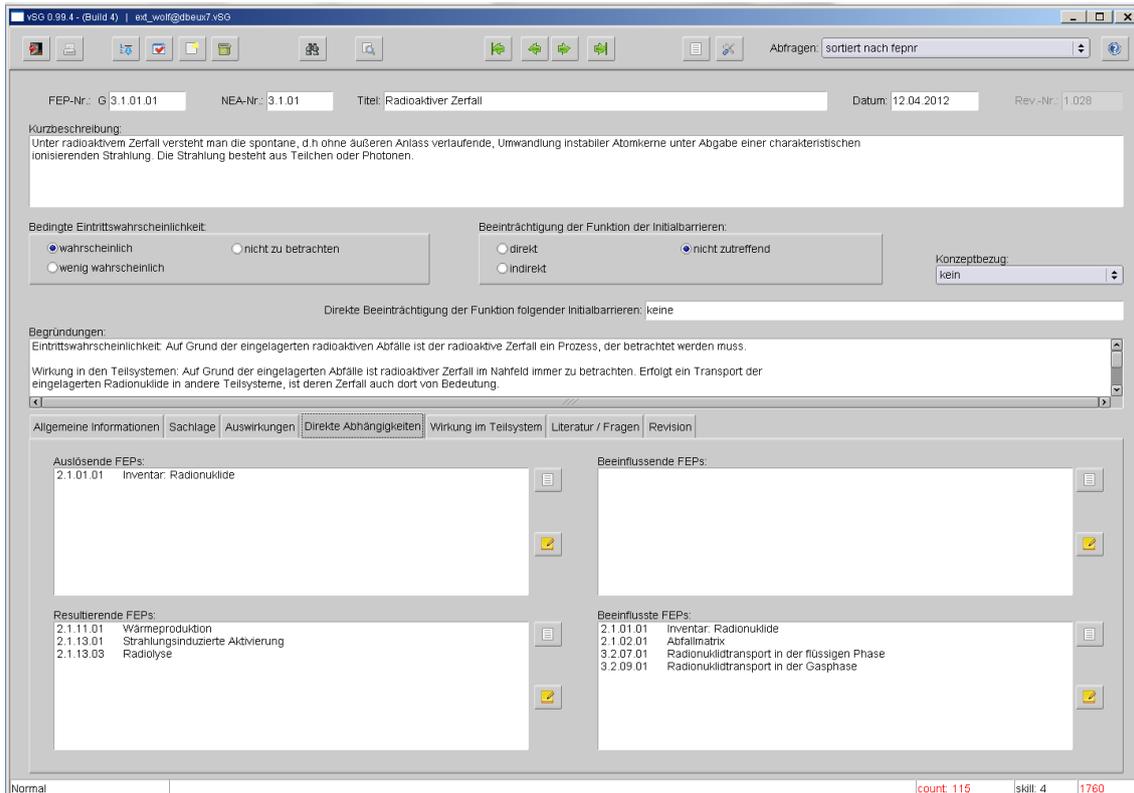


Abb. 4.1 Grafische Benutzeroberfläche der VSG-FEP-Datenbank am Beispiel des FEP *Radioaktiver Zerfall*

Die grafische Benutzeroberfläche (Abb. 4.1) ist geteilt in einen Kopf und sieben Registerkarten, auf denen vor allem längere Texte zur inhaltlichen Beschreibung eingetragen sind. Zunächst werden einige allgemeine Angaben im Kopf der Benutzeroberfläche erklärt bevor detailliert auf die in der Datenbank abzulegenden Informationen eingegangen wird.

FEP-Bezeichnung: Die FEP-Bezeichnung setzt sich zusammen aus der FEP-Nummer, der NEA-Nummer und dem FEP-Titel. Die **FEP-Nummer** ermöglicht eine eindeutige Kennzeichnung des FEP anhand eines vierstufigen Anordnungsschemas.

Die ersten drei Zahlen entsprechen dem Schema der NEA-FEP-Datenbank /NEA 00/. Da das NEA-Schema ein allgemeines Schema für alle Wirtsgesteinstypen darstellt, ist es für bestimmte Kapitel des NEA-Schemas sinnvoll, sie in dem standortspezifischen Katalog für die VSG in mehrere FEP aufzuspalten. Um den Bezug zur Systematik der NEA-Liste zu erhalten und gleichzeitig die zusätzliche Untergliederung in der Nummerierung darzustellen, wurde die Nummer der NEA mittels einer vierten Zifferngruppe weiter untergliedert. Allen FEP-Nummern wird der Buchstabe „G“ vorangestellt. Diese Kennung wurde bei der NEA angemeldet und ermöglicht, den FEP-Katalog für den Standort Gorleben nach seiner Übersetzung in den internationalen FEP-Katalog der NEA einzubinden.

NEA-Nummer: Die dreigliedrigen **NEA-Nummern** des FEP-Schemas der NEA wird in dem FEP-Katalog für das betrachtete Endlagersystem ebenfalls im Kopf der Datenbankmaske aufgeführt, um den Bezug des betreffenden FEP zur Systematik des FEP-Schemas der NEA transparent zu machen (siehe Anhang A).

FEP-Titel: Zusätzlich zur FEP-Nummer, mit der jedes FEP eindeutig identifiziert ist, wird für jedes FEP ein aussagekräftiger **FEP-Titel** vergeben. Beim Benennen der FEP wurden folgende Regeln zugrunde gelegt:

- Ist ein auf das Wirtsgestein bezogenes FEP unabhängig von der mineralogischen Zusammensetzung des Wirtsgesteins, wird im Titel der Begriff „Wirtsgestein“ verwendet, Beispiel: *Störungen und Klüfte im Wirtsgestein*
- Handelt es sich um ein FEP, das eine Besonderheit des Wirtsgesteinstyps Salz beschreibt, wird der Begriff „Salzgestein“ verwendet, Beispiel: *Druckgetriebene Infiltration von Fluiden ins Salzgestein*
- Werden in einem FEP sich ausschließende Prozesse zusammengefasst, werden sie mit einem „oder“ versehen, Beispiel: *Transgression oder Regression*
- Werden in einem FEP gleichzeitig ablaufende Prozesse zusammengefasst, werden sie mit einem „und“ versehen, Beispiel: *Auflösung und Ausfällung*
- Von „Versagen“ ist bei technischen Barrieren die Rede, die eine Initial-Barriere darstellen (Brennelement-Behälter, Schacht- und Streckenverschlüsse), ihre Funktion hinsichtlich ihrer planerischen Auslegung aber nicht (mehr) erfüllen. „Vorzeitiges Versagen“ beschreibt das Verhalten von Initial-Barrieren, die die Anforderungen hinsichtlich ihrer Lebensdauer nicht erfüllen.

- Von „Ausfall“ ist bei allen anderen technischen Komponenten im Endlagersystem die Rede, wenn sie eine ihnen zugedachte Funktion nicht (mehr) erfüllen (Sonstige Endlagerbehälter, Dichtpfropfen und die Bohrlochverrohrung).

Revision: Da bei einer Sicherheitsanalyse und allen damit zusammenhängenden Tätigkeiten Nachvollziehbarkeit angestrebt wird, werden bei späteren Sicherheitsanalysen alle Arbeitsversionen in der Datenbank gespeichert, so dass für den Benutzer die Gelegenheit besteht, durch das Studium vorhergehender Versionen die im Zuge der Diskussionsprozesse durchlaufenen Änderungen in den FEP-Beschreibungen nachzuvollziehen. Zu jedem FEP ist das **Datum** der letzten Änderung der vorliegenden FEP-Beschreibung eingetragen.

Zusätzlich verwaltet die Datenbank die Arbeitsversionen mit einer Revisionsnummer. Die Zahl vor dem Punkt (z. B. **1.005**) gibt die Revisionsnummer und die Zahl nach dem Punkt: **1.005**) die Arbeitsversion an. Die Arbeitsversion wird automatisch bei jeder Änderung an einem FEP für dieses FEP hochgezählt. Wird die Entscheidung für eine Revision der Datenbank getroffen und durchgeführt (z. B. beim Beginn eines neuen Projektes), dann wird die Revisionsnummer für alle FEP um eins erhöht und die aktuelle Arbeitsversion wird auf eins zurück gesetzt (2.001). Dadurch können Bearbeitungen innerhalb eines Projektes zu einem späteren Zeitpunkt besser nachvollzogen werden.

Im Feld „Revision“ sind die Erläuterungen zu den durchgeführten Änderungen im FEP-Katalog chronologisch dokumentiert. Da die Datenbank für die VSG eine Neuerstellung ist, wird die Revisionierung erst nach Abschluss der Besprechung der FEP für Version 1 des Gorleben FEP-Kataloges verwendet (Stichtag: 30.04.2012).

Konzeptbezug: In der VSG werden verschiedene Konzepte für die Einlagerung der Abfälle am Standort Gorleben geprüft /BOL 11/:

- Variante A: Einlagerung von Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung in horizontalen Einlagerungskammern
- Variante B1: Einlagerung aller wärmeentwickelnden radioaktiven Abfälle in selbstabschirmenden Endlagerbehältern (POLLUX- und CASTOR-Behälter) in horizontalen Strecken
- Variante B2: Einlagerung aller wärmeentwickelnden Abfälle in Transport- und Lagerbehältern in horizontalen Bohrlöchern (Differenzbetrachtung zu B1)

- Variante C: Einlagerung aller wärmeentwickelnden radioaktiven Abfälle in tiefen, vertikalen Bohrlöchern (Brennstabkokillen, Triple-Packs)

Daraus kann folgen, dass FEP im FEP-Katalog nur speziell für ein Konzept in Frage kommen (z. B. das FEP *Kokillensticking*). Diese Information ist über ein Dropdown-Listefeld in der Datenbank abgelegt. Unterschieden wird dabei zwischen Variante A, Variante B1/B2 und Variante C. Ist das FEP unabhängig vom Einlagerungskonzept, wurde keine Variante ausgewählt.

Die Aufteilung der folgenden zwölf Unterkapiteln (Kapitel 4.1 bis 4.12) entspricht der Untergliederung des technischen Berichtes /WOL 12/, der einen Auszug aus der Datenbank (Stichtag 30.04.2012) darstellt.

Es ist in jedem Unterkapitel angegeben, was in die Datenbank zu jedem Aspekt jeweils eingegeben werden kann.

4.1 Definition/Kurzbeschreibung

Dieses Feld beinhaltet die Definition des FEP und gegebenenfalls eine kurze Beschreibung. Dadurch wird das FEP gegenüber möglicherweise differierenden Bedeutungen in anderen Fachgebieten sowie Mehrdeutigkeiten abgegrenzt.

4.2 Allgemeine Informationen und Beispiele

Ausgehend von der Kurzbeschreibung (Kapitel 4.1) kann in diesem Textfeld die Bedeutung des FEP durch zusätzliche Informationen und Beispiele näher erläutert werden. Diese Informationen müssen nicht standortspezifisch sein, hier können z. B. auch relevante Informationen, die für andere Wirtsgesteinstypen vorhanden sind, dargelegt werden.

4.3 Sachlage am Standort

Für die durch das jeweilige FEP beschriebene Gegebenheit ist in diesem Feld die Sachlage am Standort Gorleben angegeben. Die Darstellung beschränkt sich nicht nur auf das derzeitige oder frühere Eintreten bzw. die Ausprägung des FEP am Standort

Gorleben, sondern umfasst auch die Möglichkeit des Eintretens bzw. der Ausprägung des FEP in der Zukunft.

4.4 Standortspezifische Auswirkungen

In diesem Feld sind die durch das FEP hervorgerufenen möglichen Veränderungen gegenüber dem Anfangszustand am Standort genannt.

4.5 Zeitliche Beschränkung

Verschiedene FEP können nur in bestimmten Zeiträumen auftreten bzw. wirksam werden. Sofern solche zeitlichen Beschränkungen durch die konkreten Gegebenheiten am Standort Gorleben bestehen, sind sie in diesem Feld unter der Registerkarte „Wirkung im Teilsystem“ (Abb. 4.2) angegeben.

Bei der Verknüpfung von FEP zu Szenarien können dann Kombinationen von FEP, die im Prinzip voneinander abhängig sind, aber im konkreten Fall nur in unterschiedlichen Zeiträumen wirksam werden können, unberücksichtigt bleiben.

Wenn das FEP über den gesamten Nachweiszeitraum auftreten kann oder anderweitig keine zeitlichen Einschränkungen möglich sind, wird dies durch den Eintrag „keine“ dokumentiert.

4.6 Bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit

Mit Hilfe eines Auswahlfeldes erfolgt eine Klassifizierung der Wahrscheinlichkeit, mit der ein FEP unter der Bedingung eintritt, dass die für sein Eintreten notwendigen Voraussetzungen am Standort vorliegen bzw. mit Sicherheit zu erwarten sind. In der FEP-Datenbank wird über eine Schaltfläche zwischen folgenden Optionen unterschieden:

- **wahrscheinlich:** Das Eintreten von FEP dieser Klasse innerhalb des Nachweiszeitraums ist zu erwarten. In diese Klasse fallen auch am Standort vorliegende Gegebenheiten, die z. B. die geologische Situation am Standort beschreiben (z. B. das FEP *Wirtsgestein*) oder durch die Einlagerung der radioaktiven Abfälle gegeben sind (z. B. das FEP *Inventar: Radionuklide*).

- weniger wahrscheinlich: Das Eintreten von FEP dieser Klasse innerhalb des Nachweiszeitraums ist nicht zu erwarten aber auch nicht auszuschließen.
- nicht zu betrachten: Diese Klasse wird gewählt, wenn das FEP am Standort innerhalb des Nachweiszeitraumes nicht eintreten kann. Dies trifft zum Beispiel auf das FEP *Orogenese* zu. Auch FEP, dessen primäre Auswirkungen alle denkbaren Auswirkungen eines Endlagers übersteigen, wie das FEP *Meteoriteneinschlag*, werden in diese Kategorie eingestuft.

4.7 Wirkung in den Teilsystemen

Unter dieser Registerkarte (Abb. 4.2) ist über Dropdown-Listen für die in Kapitel 3.2.2 definierten Teilsysteme angegeben, ob das FEP bei der Szenarienentwicklung aufgrund der standortspezifischen Ausprägung in dem entsprechenden Teilsystem berücksichtigt werden muss oder unberücksichtigt bleiben kann.

Die Wirkung eines FEP wird nur in den Teilsystemen ausgewiesen, in denen das FEP selbst stattfindet oder vorhanden ist. Der Einfluss des FEP auf andere Teilsysteme wird über die Abhängigkeiten der FEP (Kapitel 4.10) beschrieben. So wirkt das FEP *Deck- und Nebengebirge* nur im Teilsystem „Deck- und Nebengebirge“. Auswirkungen auf das Teilsystem „Wirtsgestein“ durch mögliche Mächtigkeitsschwankungen werden über die Abhängigkeiten (FEP *Spannungsänderung und Spannungsumlagerung*) beschrieben.

The screenshot shows a web-based interface for the VSG-FEP database. The title bar indicates 'VSG 0.99.4 - (Build 4) | ext_wolf@tbeu7.vsg'. The main content area is titled 'Radioaktiver Zerfall' and includes the following fields and sections:

- Header:** FEP-Nr.: G 3.1.01.01, NEA-Nr.: 3.1.01, Titel: Radioaktiver Zerfall, Datum: 12.04.2012, Rev.-Nr.: 1.028.
- Kurzbeschreibung:** Unter radioaktivem Zerfall versteht man die spontane, d.h. ohne äußeren Anlass verlaufende, Umwandlung instabiler Atomkerne unter Abgabe einer charakteristischen ionisierenden Strahlung. Die Strahlung besteht aus Teilchen oder Photonen.
- Bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit:** Radio button selected: wahrscheinlich, nicht zu betrachten, wenig wahrscheinlich.
- Beeinträchtigung der Funktion der Initialbarrieren:** Radio button selected: nicht zutreffend, direkt, indirekt.
- Konzeptbezug:** Dropdown menu: kein.
- Direkte Beeinträchtigung der Funktion folgender Initialbarrieren:** keine.
- Begründungen:**
 - Eintrittswahrscheinlichkeit:** Auf Grund der eingelagerten radioaktiven Abfälle ist der radioaktive Zerfall ein Prozess, der betrachtet werden muss.
 - Wirkung in den Teilsystemen:** Auf Grund der eingelagerten Abfälle ist radioaktiver Zerfall im Nahfeld immer zu betrachten. Erfolgt ein Transport der eingelagerten Radionuklide in andere Teilsysteme, ist deren Zerfall auch dort von Bedeutung.
- Navigation:** Tabs for Allgemeine Informationen, Sachlage, Auswirkungen, Direkte Abhängigkeiten, **Wirkung im Teilsystem**, Literatur / Fragen, Revision.
- Filtering:**
 - Nahfeld: zu berücksichtigen
 - Wirtsgestein: zu berücksichtigen
 - Strecken und Schächte: zu berücksichtigen
 - Deck- und Nebengebirge: zu berücksichtigen
- Zeitliche Beschränkungen:** keine.
- Footer:** Normal, count: 115, skill: 4, 1760.

Abb. 4.2 Registerkarte „Wirkung im Teilsystem“ in der VSG-FEP-Datenbank am Beispiel des FEP *Radioaktiver Zerfall*

4.8 Beeinträchtigung der Funktion der Initial-Barrieren

Mittels dieses Auswahlfeldes wird angegeben, ob das entsprechende FEP möglicherweise eine oder mehrere Initial-Barrieren direkt oder indirekt beeinträchtigen kann. Die Definition einer Initial-Barriere ist in Kapitel 3.2.3 dargelegt.

Eine **direkte Beeinträchtigung** bedeutet, dass das FEP ursächlich auf die Funktion einer bestimmten Barriere negativ einwirkt. Eine **indirekte Beeinträchtigung** bedeutet, dass das betrachtete FEP ein anderes FEP beeinflusst oder auslöst (Kapitel 4.10), das wiederum eine direkte Beeinträchtigung auf eine oder mehrere Initial-Barrieren aufweist.

Wenn weder eine direkte noch indirekte Beeinträchtigung der Funktion einer Initial-Barriere gegeben ist, wird das Auswahlfeld „nicht zutreffend“ verwendet.

Wurde eine direkte Beeinträchtigung des betrachteten FEP auf die Funktion einer Initial-Barriere identifiziert, so sind die betroffenen Barrieren in der Datenbank benannt.

FEP, die eine Initial-Barriere oder Teile davon beschreiben (Wirtsgestein, Schachtverschlüsse, Streckenverschlüsse, Verschlussmaterialien, Brennelement-Behälter), können diese Barriere nicht beeinträchtigen. Sie können aber indirekt andere Barrieren beeinträchtigen.

4.9 Begründungen zu 4.6 bis 4.8

In den Einträgen, die gemäß den Kapiteln 4.6 bis 4.8 gemacht wurden, sind zusammen mit den direkten Abhängigkeiten (Kapitel 4.10) die entscheidenden Informationen für die Szenarientwicklung abgelegt. Da es eine wichtige Aufgabe des FEP-Kataloges ist, die wissenschaftlichen Sichtweisen und die darauf basierenden getroffenen Entscheidungen transparent und nachvollziehbar zu machen, sind in diesem Textfeld daher die Begründungen zu den Einträgen zur bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit (Kapitel 4.6), zur Wirkung in den Teilsystemen (Kapitel 4.7) und zur Beeinträchtigung der Funktion einer Initial-Barriere (Kapitel 4.8) dokumentiert.

4.10 Direkte Abhängigkeiten

Diese Registerkarte (Abb. 4.1) gliedert sich in vier Felder, in denen die Abhängigkeiten zwischen den FEP dargestellt sind. Es sind die direkten Abhängigkeiten zwischen FEP aufgezeigt, die für die Langzeitsicherheitsanalyse von Bedeutung sind. Die Kenntnis derartiger Abhängigkeiten bildet eine wichtige Grundlage für die Identifizierung der Ausprägungen der FEP und spielt damit für die Szenarientwicklung eine große Rolle.

Eine **direkte Abhängigkeit** bedeutet in diesem Zusammenhang in Analogie zu Kapitel 4.8, dass das genannte FEP auf das genannte andere FEP wirkt. So ist beispielsweise in der Logik des FEP-Kataloges das FEP *Wärmeproduktion* eine direkte Folge des FEP *Radioaktiver Zerfall* und es besteht ein direkter Zusammenhang zwischen diesen FEP (Abb. 4.3). Dagegen hängt das FEP *Wärmeproduktion* nicht direkt vom FEP *Inventar: Radionuklide* ab, da dazwischen das FEP *Radioaktiver Zerfall* wirkt. Das FEP *Inventar: Radionuklide* taucht folglich nicht bei der Beschreibung der Abhängigkeiten des FEP *Wärmeproduktion* auf.

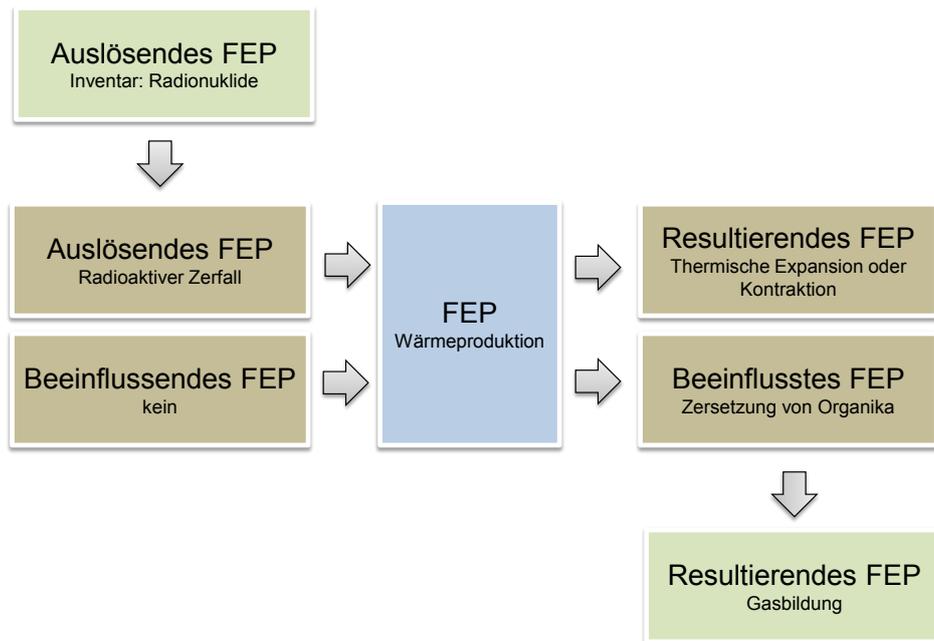


Abb. 4.3 Beispiele für Abhängigkeiten des FEP *Wärmeproduktion*

Bei der Beschreibung der direkten Abhängigkeiten der FEP wird zwischen auslösenden FEP, beeinflussenden FEP, resultierenden FEP und beeinflussten FEP unterschieden:

- Auslösende FEP: Ereignisse oder Prozesse, aus denen zwingend das vorliegende FEP folgt. Beispiel: Das FEP *Radioaktiver Zerfall* ist ein auslösendes FEP für das FEP *Wärmeproduktion*.
- Beeinflussende FEP: Eigenschaften, Ereignisse oder Prozesse, die das vorliegende FEP beeinflussen und damit seine Wirkung verändern können. Beispiel: Das FEP *Wärmeproduktion* hat keine beeinflussenden FEP, ist aber ein beeinflussendes FEP für das FEP *Zersetzung von Organika*.
- Resultierende FEP: Eigenschaften, Ereignisse oder Prozesse, die zwingend durch das vorliegende FEP ausgelöst werden. Beispiel: Das FEP *Thermische Expansion oder Kontraktion* ist ein aus dem FEP *Wärmeproduktion* resultierendes FEP.
- Beeinflusste FEP: Eigenschaften, Ereignisse oder Prozesse, die durch das vorliegende FEP beeinflusst werden und deren Wirkungen dadurch verändert werden können. Beispiel: Das FEP *Zersetzung von Organika* ist ein durch das FEP *Wärmeproduktion* beeinflusstes FEP.

Die Tatsache, dass zwischen auslösenden und resultierenden bzw. beeinflussenden und beeinflussten FEP eine Wechselbeziehung besteht, wird in der Datenbank genutzt, indem ein Konsistenzcheck zwischen den Einträgen zu auslösenden und resultierenden FEP bzw. zu beeinflussenden und beeinflussten FEP durchgeführt werden kann und dabei vorhandene Inkonsistenzen ausgegeben werden. Diese Prüfung ist nützlich, da solche Inkonsistenzen bei der Bearbeitung anzeigen, dass die Abhängigkeiten zwischen zwei FEP aus der Perspektive des einen FEP anders beurteilt werden als aus der Perspektive des anderen FEP. Vorhandene Inkonsistenzen müssen im Laufe der Erstellung eines FEP-Kataloges aufgelöst werden.

Viele FEP des FEP-Kataloges sind aus sich heraus gegeben und weisen keine auslösenden oder beeinflussenden FEP aus. Grund dafür ist der Ansatz, die Anzahl der FEP auf ein vernünftiges, für die Zwecke der Szenarienentwicklung handhabbares Maß zu begrenzen. So werden beispielsweise im FEP *Diapirismus* die Ursachen dieses Prozesses diskutiert. Auch viele Merkmale des Endlagersystems stellen Randbedingungen dar und haben somit keine auslösenden FEP (z. B. das FEP *Versatz*).

Abhängigkeiten sind nur für FEP angegeben, die

- entweder der Wahrscheinlichkeitsklasse „wahrscheinlich“ oder „weniger wahrscheinlich“ zugeordnet und
- mindestens in einem Teilsystem zu betrachten sind.

Für FEP, die durch das FEP-Screening aus der Szenarienentwicklung ausgeschlossen wurden, brauchen keine Abhängigkeiten angegeben zu werden.

Da die Abhängigkeiten zwischen den FEP entscheidenden Einfluss auf die Szenarientwicklung haben, sind sie in der Datenbank begründet. In einem dafür vorgesehenen Textfeld wird zu jeder Abhängigkeit angegeben, warum die beiden FEP in einer direkten Abhängigkeit zueinander stehen. Im Rahmen der Erarbeitung des FEP-Kataloges haben sich bei einigen FEP Diskussionen bezüglich der Abhängigkeiten ergeben, insbesondere dass die Differenzierung zwischen einer direkten und indirekten Abhängigkeit (über einen anderen FEP) nicht eindeutig ist oder vernachlässigt werden kann. Solche Aspekte werden ebenfalls in den Begründungsfeldern angegeben.

4.11 Offene Fragen

In diesem Textfeld sind die Aspekte erwähnt, die für das aktuelle FEP relevant sind, aber im Detail noch besser untersucht werden müssen. Hier werden auch Fragestellungen genannt, die keinen FuE-Bedarf im eigentlichen Sinne darstellen, aber zu deren Beantwortung noch konkrete Arbeiten durchgeführt werden müssen. Dazu zählt z. B. die Entwicklung von Endlagerbehältern wie der BSK.

Offene Arbeiten, die in einem Genehmigungsverfahren endlagerspezifisch durchzuführen wären, werden nicht aufgeführt (z. B. Durchführung einer Störfallanalyse).

4.12 Literaturquellen

In diesem Feld sind die in der FEP-Beschreibung angeführten Literaturzitate aufgeführt. Um die Transparenz des FEP-Kataloges zu gewährleisten, wird nur auf veröffentlichte Literatur zurückgegriffen. Zusätzlich zu den Literaturzitationen wird unter „Weiterführende Literatur“ Literatur ergänzt, die für das Verständnis des jeweiligen FEP von Interesse sein kann.

5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Der im Rahmen des Vorhabens VSG erstellte FEP-Katalog /WOL 12/ liefert eine Darstellung der Merkmale, die den Anfangszustand des Endlagersystems zu Beginn der Nachverschlussphase am Standort Gorleben charakterisieren sowie der Ereignisse und Prozesse, die in einem derartigen Endlagersystem zukünftig ablaufen können. Die Beschreibungen der FEP im FEP-Katalog stellen den Stand von Wissenschaft und Technik dar. Der FEP-Katalog ist das verbindende Element zwischen den Grundlagen (Standortbeschreibung, geowissenschaftliche Langzeitprognose und Abfallspezifikation), den Endlagerkonzepten und der Systemanalyse.

Der FEP-Katalog geht über die Zusammenfassung der für die Langzeitsicherheit wesentlichen Inhalte der grundlegenden Berichte hinaus und zeigt den Zusammenhang zwischen Standortgegebenheiten und -entwicklungen und den aus der Einlagerung radioaktiver Abfälle resultierenden Bedingungen und Prozesse auf. Er liefert damit eine wichtige Grundlage für die Szenarienentwicklung und die weiteren Schritte in einer Langzeitsicherheitsanalyse. Der FEP-Katalog liefert zudem Angaben zur Literatur zu den FEP am Standort Gorleben und stärkt somit die Nachvollziehbarkeit und Transparenz der in der VSG verwendeten Informationen. Er ist für die VSG entwickelt worden und ist **spezifisch für den Standort Gorleben und die in der VSG verwendeten Endlagerkonzepte**. Bei der Erarbeitung der FEP-Beschreibungen ergaben sich offene Fragen, die nicht mit dem noch bestehenden Untersuchungs- und Erkundungsbedarf gleichzusetzen sind, aber einen wichtigen Beitrag zur Feststellung dieses Bedarfes liefern.

Der FEP-Katalog liefert aber nicht nur eine wissenschaftliche Darstellung der Merkmale, Ereignisse und Prozesse. Gemäß den in Kapitel 2 dargelegten Zielen ist eine Vielzahl von Informationen notwendig, die im FEP-Katalog entsprechend bereitgestellt werden muss:

- eine Definition bzw. Kurzbeschreibung,
- allgemeine Informationen und Beispiele,
- die Sachlage am Standort Gorleben,
- die Auswirkungen des FEP im Endlagersystem,
- mögliche zeitliche Beschränkungen des FEP,

- die bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit (inkl. Begründung),
- die Beeinträchtigung der Funktion der Initial-Barrieren (inkl. Begründung),
- die Wirkung in den Teilsystemen (inkl. Begründungen),
- die direkten Abhängigkeiten zu anderen FEP (inkl. Begründungen),
- offene Fragen und
- Literaturquellen.

Die Begründungen zur Einteilung der FEP hinsichtlich einer bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit, der Einfluss auf die Funktion der Initial-Barrieren, die direkten Abhängigkeiten zu anderen FEP sowie die Wirkung in den Teilsystemen wurden im FEP-Katalog dokumentiert, damit diese für die Szenarienentwicklung wichtigen Informationen nachvollziehbar bleiben.

Der für die VSG erstellte FEP-Katalog enthält 115 FEP. Von diesen FEP sind 98 als „wahrscheinlich“, 4 FEP als „weniger wahrscheinlich“ und 13 FEP als „nicht zu betrachten“ eingestuft. Die meisten identifizierten FEP treten am Standort Gorleben auf und sind der Klasse „wahrscheinlich“ zugeordnet. Die hohe Anzahl an wahrscheinlichen FEP ist darauf zurückzuführen, dass die meisten FEP entweder ein Merkmal des Standortes oder Endlagerkonzeptes sind, eine allgemeine physikalische Größe darstellen oder Ereignisse beschreiben, die zukünftig zu erwarten sind. Bei allen vier weniger wahrscheinlichen FEP handelt es sich um Beschreibungen von fehlerhaften technischen Komponenten. Auf Grund der geplanten Anwendung eines Qualitätsmanagementsystems bei Planung und Herstellung dieser Komponenten lassen sich solche FEP als „weniger wahrscheinlich“ einordnen.

Für insgesamt 13 FEP wurde im FEP-Katalog begründet, warum sie während des Nachweiszeitraumes am Standort Gorleben „nicht zu betrachten“ sind (Tab. 5.1). Grund für diese Einstufung sind nicht vorhandene, aber für das Auftreten der FEP notwendige geologische oder technische Randbedingungen bzw. beim FEP *Meteoriteneinschlag*, dass dessen primären Auswirkungen alle denkbaren Auswirkungen eines Endlagers übersteigen. Diese FEP werden in der Szenarienentwicklung nicht berücksichtigt.

Tab. 5.1 FEP mit Eintrittswahrscheinlichkeit „nicht zu betrachten“

FEP-Nr.	FEP-Name
1.1.12.01	Unplanmäßige Ereignisse in der Betriebsphase
1.1.12.02	Kokillensticking
1.2.01.02	Orogenese
1.2.01.04	Hebung der Erdkruste
1.2.02.02	Grabenbildung
1.2.04.01	Magmatismus
1.2.05.01	Gesteinsmetamorphose
1.2.06.01	Hydrothermale Aktivität
1.5.01.01	Meteoriteneinschlag
2.1.12.04	Zündfähige Gasmische
2.1.14.01	Kritikalität
2.2.06.02	Selbstversatz
2.2.10.04	Schmelzen des Salzgesteins

Für sechs weitere FEP konnte begründet werden, dass sie auf Grund ihrer Ausprägung am Standort Gorleben ohne Relevanz sind (Tab. 5.2). Alle sechs FEP sind wahrscheinlich. Insgesamt werden somit in der VSG 19 der 115 FEP in Folge des FEP-Screenings für den Standort Gorleben nicht berücksichtigt. Die entsprechenden Begründungen für den Ausschluss sind in /WOL 12/ dokumentiert.

Tab. 5.2 Wahrscheinliche FEP ohne Relevanz für ein Endlager am Standort Gorleben

FEP-Nr.	FEP-Name
1.2.01.01	Neotektonische Vorgänge
1.2.01.03	Senkung der Erdkruste
1.2.02.01	Krustendeformation
2.1.13.02	Materialversprödung durch Strahlung
2.2.10.03	Thermische Carnallitzersetzung
3.2.07.06	Sonstige Transportprozesse

Tab. 5.3 Wahrscheinliche FEP mit einer direkten Beeinträchtigung einer Initial-Barriere (Initial-FEP)

FEP-Nr.	FEP-Name	Beeinträchtigte Initial-Barrieren
1.2.03.01	Erdbeben	WG ² , SchV, StrV
1.2.09.01	Diapirismus	WG, SchV, StrV
1.2.09.02	Subrosion	WG, SchV
1.3.04.02	Bildung kryogener Klüfte	WG
1.3.05.03	Glaziale Rinnenbildung	WG, SchV
2.1.03.03	Versagen eines Brennelement-Behälters	BEB
2.1.05.04	Alteration von Strecken- und Schachtverschlüssen	SchV, StrV
2.1.07.01	Konvergenz	SchV, StrV
2.1.07.02	Fluiddruck	WG, SchV, StrV
2.1.07.04	Nicht thermisch induzierte Volumenänderung von Materialien	WG, SchV, StrV
2.1.07.07	Lageverschiebung des Schachtverschlusses	SchV
2.1.08.08	Quellen des Bentonits	SchV
2.1.09.02	Auflösung und Ausfällung	WG, SchV, StrV
2.1.09.03	Metallkorrosion	BEB
2.1.09.06	Korrosion von Materialien mit Zement- oder Sorelphasen	SchV, StrV
2.1.09.07	Materialversprödung durch Wasserstoffaufnahme	BEB
2.2.01.01	Auflockerungszone	SchV, StrV
2.2.02.02	Störungen und Klüfte im Wirtsgestein	WG
2.2.06.01	Spannungsänderung und Spannungsumlagerung	WG, SchV, StrV, BEB
2.2.07.01	Fluidvorkommen im Wirtsgestein	WG
2.2.07.02	Kohlenwasserstoffvorkommen im Wirtsgestein	WG
2.2.10.05	Thermochemische Sulfatreduktion	WG
2.2.11.01	Druckgetriebene Infiltration von Fluiden in das Salzgestein	WG

² WG „Wirtsgestein“, SchV „Schachtverschluss“, StrV „Streckenverschluss“, BEB „Brennelement-Behälter“

Die verbleibenden 92 wahrscheinlichen und vier weniger wahrscheinlichen FEP bilden die Grundlage der Szenarientwicklung. Von besonderer Bedeutung sind dabei die Initial-FEP, d. h. die wahrscheinlichen FEP mit einer direkten Beeinträchtigung einer Initial-Barriere (Tab. 5.3).

Der FEP-Katalog liefert die wesentlichen Informationen für die Ableitung von Szenarien. Die weitere Vorgehensweise bei der Szenarientwicklung wird in /BEU 12a/ beschrieben.

6 Entwicklungsmöglichkeiten für zukünftige Sicherheitsanalysen

Der vorliegende FEP-Katalog ist für die VSG entwickelt worden und daher spezifisch für den Standort Gorleben und die in der VSG betrachteten Endlagerkonzepte. Eine Übertragbarkeit auf andere Standorte oder andere Endlagerkonzepte ist damit nicht ohne weiteres gegeben. Allerdings sind im FEP-Katalog einige FEP enthalten, die für alle Wirtsgesteinstypen (z. B. das FEP *Radioaktiver Zerfall*) oder zumindest für das Wirtsgestein Salz (z. B. *Salzgruskompaktion*) verwendet werden können. Mit Einschränkungen bietet sich der FEP-Katalog als Ausgangspunkt für Sicherheitsanalysen an anderen Standorten an. Das Ausmaß der dann notwendigen Anpassungen und Überarbeitungen hängt davon ab, inwieweit die geologische Situation an dem Standort der geologischen Situation in Gorleben ähnelt und ob das Endlagerkonzept von den hier betrachteten Endlagerkonzepten erheblich abweicht.

Nahezu unabhängig vom Standort ist dagegen die entwickelte Methodik, die FEP im Katalog so zu klassifizieren, dass daraus in systematischer Weise Szenarien generiert werden können /BEU 12a/. Lediglich die Auswahl der Initial-Barrieren ist für jeden Standort und jedes Endlagerkonzept neu zu begründen.

Da die Methodik in der VSG zum ersten Mal für einen konkreten Standort angewandt wurde, wurden im Laufe der Erstellung auch Verbesserungsmöglichkeiten herausgearbeitet. Einige von diesen wurden bereits für die VSG umgesetzt. Für andere Verbesserungsmöglichkeiten war der Zeitrahmen der VSG zu kurz. Diese sollten daher in zukünftigen Sicherheitsanalysen berücksichtigt werden:

- Für eine vollständige Nachvollziehbarkeit der für die FEP ausgewiesenen Abhängigkeiten sollten die Begründungen für nicht bestehende Abhängigkeiten dokumentiert werden. Dies konnte im Rahmen der VSG nur teilweise durchgeführt werden.
- Die Ausprägung eines FEP wird in der VSG aus den Beschreibungen der FEP und deren Abhängigkeiten abgeleitet /BEU 12a/. Zur besseren Nachvollziehbarkeit sollte die Ausprägung im FEP-Katalog deutlicher gekennzeichnet werden
- Die Datenbank sollte um einige gängige Werkzeuge und Funktionen zur Textverarbeitung erweitert werden, insbesondere um Sonderzeichen, Exponentialzahlen oder chemische Formeln in üblicher Schreibweise eingeben zu können.

- Die Angabe der indirekten Beeinträchtigung von Initial-Barrieren kann entfallen, da sie für die Szenarienentwicklung nicht verwendet wird.
- Der FEP-Katalog enthält vier FEP, in denen die Inventare an Radionukliden, Metallen, Organika und sonstigen Stoffen beschrieben werden. Während für die Radionuklide eine Zusammenstellung in /PEI 11/ vorliegt, wurden die Inventare für Metalle, Organika und die sonstigen Stoffe im FEP-Katalog zusammengestellt. Änderungen im Endlagerkonzept bzw. in den zu berücksichtigenden Abfallmengen führten zu Änderungen, die während des Projektverlaufes in den Beschreibungen der „Inventar-FEP“ nachgehalten werden mussten. Um in zukünftigen Sicherheitsanalysen Inkonsistenzen hinsichtlich der Angaben zu diesen Inventaren zu vermeiden, wird vorgeschlagen, im Rahmen einer solchen Analyse einen Inventarbericht für alle ins Endlager eingebrachten Stoffe zu erstellen, der im FEP-Katalog zitiert werden kann.

Letztlich wird ein weiterer wichtiger Input für den FEP-Katalog durch dessen Anbindung an den in Bearbeitung befindlichen neuen NEA-FEP-Katalog erwartet.

Literaturverzeichnis

- /AND 89/ Andersson, J., Carlsson, T., Eng, T., Kautsky, F., Söderman, E., Wingefors, S.: The joint SKI/SKB scenario development project. Editor: Andersson, J., SKB Report TR 89-35 and SKI Report TR 89-14, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co (SKB): Stockholm, December 1989.
- /AVV 90/ Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung: Ermittlung der Strahlenexposition durch Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen, in der Fassung vom 21. Februar 1990. Erschienen im Bundesanzeiger, 42. Jg. Nummer 64a, 1990.
- /BEU 12a/ Beuth, T., Bracke, G., Buhmann, D., Dresbach, C., Keller, S., Krone, J., Lommerzheim, A., Mönig, J., Mrugalla, S., Rübél, A., Wolf, J.: Szenarientwicklung: Methodik und Anwendung. Bericht zum Arbeitspaket 8, Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben, GRS-284, ISBN 978-3-939355-60-1, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH: Köln, 2012.
- /BEU 12b/ Beuth, T., Baltes, B., Bollingerfehr, W., Buhmann, D., Charlier, F., Filbert, W., Fischer-Appelt, K., Mönig, J., Rübél, A., Wolf, J.: Untersuchungen zum menschlichen Eindringen in ein Endlager. Bericht zum Arbeitspaket 11, Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben, GRS-280, ISBN: 978-3-939355-56-4, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH: Köln, 2012.
- /BMU 10/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle. Bonn, Stand: 30. September 2010.
- /BOL 11/ Bollingerfehr, W., Filbert, W., Lerch, C., Tholen, M.: Endlagerkonzepte. Bericht zum Arbeitspaket 5, Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben, GRS-272, ISBN 978-3-939355-48-9, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH: Köln, 2011.

- /BOL 12/ Bollingerfehr, W., Filbert, W., Dörr, S., Herold, P., Lerch, C., Burgwinkel, P., Charlier, F., Thomauske, B., Bracke, G., Kilger, R.: Endlagerauslegung und -optimierung. Bericht zum Arbeitspaket 6, Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben, GRS-281, ISBN 978-3-939355-57-1, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH: Köln, 2012.
- /BOR 08/ Bornemann, O., Behlau, J., Fischbeck, R., Hammer, J., Jaritz, W., Keller, S., Mingerzahn, G., Schramm, M.: Projekt Gorleben, Standortbeschreibung Gorleben. Teil 3: Ergebnisse der über- und untertägigen Erkundung des Salinars. Geologisches Jahrbuch, Vol. C 73, 211 Seiten, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR): Hannover, 2008.
- /IAEA 11/ International Atomic Energy Agency (IAEA): Disposal of Radioactive Waste: Specific Safety Requirements. IAEA Safety Standard Series No. SSR-5, ISBN 978-92-0-103010-8: Wien, 2011.
- /ISI 08/ Buhmann, D., Mönig, J., Wolf, J., Heusermann, S., Keller, S., J.R., W., Bollingerfehr, W., Filbert, W., Kreienmeyer, M., Krone, J., Tholen, M.: Überprüfung und Bewertung des Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HAW (Projekt ISIBEL). 95 Seiten, Gemeinsamer Bericht von DBE TECHNOLOGY GmbH, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) und Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, DBE TECHNOLOGY GmbH: Peine, April 2008.
- /ISI 10/ Buhmann, D., Mönig, J., Wolf, J., Keller, S., Mrugalla, S., J.R., W., Krone, J., Lommerzheim, A.: FEP-Katalog für einen HAW-Standort im Wirtsgestein Salz. Überprüfung und Bewertung des Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HAW (Projekt ISIBEL), Gemeinsamer Bericht von DBE TECHNOLOGY GmbH, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) und Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, DBE TECHNOLOGY GmbH: Peine, April 2010.

- /KLI 07/ Klinge, H., Boehme, J., Grissemann, C., Houben, G., Ludwig, R.-R., Rübeler, A., Schelkes, K., Schildknecht, F., Suckow, A.: Projekt Gorleben, Standortbeschreibung Gorleben. Teil 1: Die Hydrogeologie des Deckgebirges des Salzstocks Gorleben. Geologisches Jahrbuch, Vol. C 71, 147 Seiten, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR): Hannover, 2007.
- /KÖT 07/ Köthe, A., Hoffmann, N., Krull, P., Zirngast, M., Zwirner, R.: Projekt Gorleben, Standortbeschreibung Gorleben. Teil 2: Die Geologie des Deck- und Nebengebirges des Salzstocks Gorleben. Geologisches Jahrbuch, Vol. C 72, 201 Seiten, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR): Hannover, 2007.
- /MÖN 12/ Mönig, J., Buhmann, D., Rübeler, A., Wolf, J., Baltus, B.: Sicherheits- und Nachweiskonzept. Bericht zum Arbeitspaket 4, Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben, GRS-277, ISBN: 978-3-939355-53-3, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH: Köln, 2012.
- /MRU 11/ Mrugalla, S.: Geowissenschaftliche Langzeitprognose. Bericht zum Arbeitspaket 2, Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben, GRS-275, ISBN 978-3-939355-51-9, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH: Köln, Juli 2011.
- /MÜL 12/ Müller-Hoeppe, N., Buhmann, D., Czaikowski, O., Engelhardt, H.J., Herbert, H.-J., Lerch, C., Linkamp, M., Wiczorek, K., Xie, M.: Integrität geotechnischer Barrieren – Teil 1: Vorbemessung. Arbeitspaket 9.2, Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben, GRS-287, ISBN: 978-3-939355-63-2, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH: Köln, 2012.
- /NEA 00/ Organization for Economic Co-operation and Development - Nuclear Energy Agency (OECD-NEA): Features, Events and Processes (FEPs) for Geologic Disposal of Radioactive Waste. An International Database. Radioactive Waste Management, 92 Seiten, ISBN 92-64-18514-3: Paris, 24. August 2000.

- /PEI 11/ Peiffer, F., McStocker, B., Gründler, D., Ewig, F., Thomauske, B., Havenith, A., Kettler, J.: Abfallspezifikation und Mengengerüst. Basis Ausstieg aus der Kernenergienutzung (Juli 2011). Bericht zum Arbeitspaket 3, Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben, GRS-278, ISBN 978-3-939355-54-0, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH: Köln, September 2011.
- /RÖH 09/ Röhlig, K.-J., Appel, D., Kienzler, B., Lux, K.H., Odoj, R., Plischke, E.: Review des im Vorhaben "Überprüfung und Bewertung des Instrumentariums für eine sicherheitsliche Bewertung des Instrumentariums für eine sicherheitsliche Bewertung von Endlagern für HAW" (Projekt ISIBEL) erstellten FEP-Katalogs. Abschlussbericht, Technische Universität Clausthal: Clausthal-Zellerfeld, 2009.
- /SKB 11/ Svensk Karnbranslehantering AB (SKB): Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark. Main report of the SR-Site project. Vol. 1-3, SKB TR-11-01: Stockholm, 2011.
- /WOL 12/ Wolf, J., Behlau, J., Beuth, T., Bracke, G., Bube, C., Buhmann, D., Dresbach, C., Hammer, J., Keller, S., Kienzler, B., Klinge, H., Krone, J., Lommerzheim, A., Metz, V., Mönig, J., Mrugalla, S., Popp, T., Rübel, A., Weber, J.R.: FEP-Katalog für die VSG. Dokumentation. Bericht zum Arbeitspaket 7, Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben, GRS-283, ISBN: 978-3-939355-58-8, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH: Köln, 2012.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1	Stellung des FEP-Kataloges in der VSG.....	4
Abb. 3.1	Ableitung von Wahrscheinlichkeitsklassen aus den Informationen im FEP-Katalog zur bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit und der Ausprägung	13
Abb. 3.2	Im FEP-Katalog berücksichtigte Abhängigkeiten der FEP.....	16
Abb. 4.1	Grafische Benutzeroberfläche der VSG-FEP-Datenbank am Beispiel des FEP <i>Radioaktiver Zerfall</i>	21
Abb. 4.2	Registerkarte „Wirkung im Teilsystem“ in der VSG-FEP-Datenbank am Beispiel des FEP <i>Radioaktiver Zerfall</i>	27
Abb. 4.3	Beispiele für Abhängigkeiten des FEP <i>Wärmeproduktion</i>	29

Tabellenverzeichnis

Tab. 5.1	FEP mit Eintrittswahrscheinlichkeit „nicht zu betrachten“	35
Tab. 5.2	Wahrscheinliche FEP ohne Relevanz für ein Endlager am Standort Gorleben.....	35
Tab. 5.3	Wahrscheinliche FEP mit einer direkten Beeinträchtigung einer Initial- Barriere (Initial-FEP)	36

A Anhang: Zuordnung der innerhalb der VSG identifizierten FEP zum NEA-FEP-Katalog FEP

Für die Nutzung eines spezifischen FEP-Kataloges ist es wichtig, dessen Vollständigkeit so weit wie möglich sicherzustellen. Einen wichtigen Beitrag zur Erreichung dieses Ziels leistet die Zuordnung der innerhalb der VSG identifizierten FEP zum NEA-FEP-Katalog .

Der FEP-Katalog der NEA enthält ein allgemeines Anordnungsschema für FEP, das auf der Basis verschiedener vorliegender nationaler FEP-Kataloge entwickelt wurde. Die allgemeinen FEP werden dort als IFEP bezeichnet. In der NEA-FEP-Datenbank sind diesen IFEP jeweils projektspezifische FEP (PFEP) aus den verschiedenen nationalen FEP-Katalogen zugeordnet. Bei der Entwicklung des FEP-Kataloges der NEA lag allerdings nur ein FEP-Katalog für ein Endlager in einer Salzformation (WIPP-Site in den USA) vor. Dennoch wurden beim Abgleich des vorliegenden FEP-Kataloges mit den IFEP des FEP-Kataloges der NEA auch die zugehörigen PFEP mit berücksichtigt.

Die nachfolgende Tabelle ordnet systematisch den allgemeinen FEP im NEA-Dokument die FEP des FEP-Kataloges für den Standort Gorleben (G-FEP) thematisch zu. Die Kurzbeschreibungen für die einzelnen Aspekte aus /NEA 00/ wurden im Originaltext übernommen, um Interpretationen durch den Übersetzungsprozess zu vermeiden.

Für eine ganze Reihe von IFEP gibt es im FEP-Katalog der VSG für den Standort Gorleben keine entsprechenden Einträge. Dies begründet sich u. a. mit in Deutschland existierenden regulatorischen Vorgaben in der Behandlung bestimmter Aspekte in einem Langzeitsicherheitsnachweis. Des Weiteren sind FEP, die nur während der Betriebsphase auftreten und keinen Einfluss auf die Langzeitsicherheit im FEP-Katalog haben, für den Standort Gorleben nicht aufgeführt. FEP, die Wechselwirkungen zwischen FEP, z. B. zwischen geologischen und hydrogeologischen FEP darstellen, werden im FEP-Katalog für den Standort Gorleben über die ausgewiesenen Abhängigkeiten abgebildet und brauchen daher nicht als zusätzliche FEP aufgenommen werden. Existieren unter einer NEA-IFEP-Nummer keine FEP-Einträge für den Standort Gorleben, wird in der nachfolgenden Tabelle die Begründung geliefert.

Tab. A.1 Zuordnung der VSG-FEP zum NEA-FEP-Katalog FEP

NEA No. NEA FEP		NEA Short description	
	G-FEP-Nr.	G-FEP-Bezeichnung / Bemerkung	
1	EXTERNAL FACTORS		
<p><i>FEP with causes or origin outside the disposal system domain, i.e. natural or human factors of a more global nature and their immediate effects. Included in this category are decisions related to repository design, operation and closure since these are outside the temporal boundary of the disposal system domain for postclosure assessment.</i></p>			
	1		
1.01	REPOSITORY ISSUES		
<p><i>Decisions on designs and waste allocation, and also events related to site investigation, operations and closure.</i></p>			
	1.1		
1.01.01	Site investigation		
<p><i>FEP related to the investigations that are carried out at a potential repository site in order to characterise the site both prior to repository excavation and during construction and operation.</i></p>			
		<p><i>FEP, die aus einer Standorterkundung resultieren und die die Langzeitsicherheit des Endlagersystems beeinflussen können, werden in dem FEP 1.5.03.01 „Wegsamkeiten in Erkundungsbohrungen“ behandelt.</i></p>	
1.01.02	Excavation/construction		
<p><i>FEP related to the excavation of shafts, tunnels, disposal galleries, silos etc. of a repository, the stabilisation of these openings and installation/assembly of structural elements.</i></p>			
		<p><i>Die Auffahrung und der Ausbau von untertägigen Hohlräumen zur Erstellung des Grubengebäudes sind mit Spannungumlagerungen (2.2.06.01) und der Entwicklung einer Auflockerungszone (2.2.01.01) verbunden. Weitere Auswirkungen der Erstellung des Grubengebäudes werden in den FEP behandelt, die sich auf das Grubengebäude beziehen, z. B. 2.1.12.02 „Gasmenge im Grubenbau“.</i></p>	

NEA No. NEA FEP	
NEA Short description	
G-FEP-Nr.	G-FEP-Bezeichnung / Bemerkung
1.01.03	<p>Emplacement of wastes and backfilling</p> <p><i>FEP related to the placing of wastes (usually in containers) at their final position within the repository and placing of buffer and/of backfill materials.</i></p>
	<p><i>Die Auswirkungen der räumlichen Anordnung von Einlagerungsbereichen und der Abfolge der Abfalleinlagerung auf die Langzeitsicherheit des Endlagersystems werden in diversen FEP behandelt, z. B. 2.1.11.01 „Wärmeproduktion“ und 2.1.11.02 „Thermische Expansion oder Kontraktion“.</i></p>
1.01.04	<p>Closure and repository sealing</p> <p><i>FEP related to the cessation of waste disposal operations at a site and the backfilling and sealing of access tunnels and shafts.</i></p>
	<p><i>Mögliche Auswirkungen von Planungs- oder Ausführungsfehlern beim Verschluss des Endlagers auf die Langzeitsicherheit des Endlagersystems werden in den FEP 2.1.05.01 „Verschlussmaterialien“, 2.1.05.02 „Schachtverschlüsse“, 2.1.05.03 „Streckenverschlüsse“ und 2.1.05.05 „Sonstige Verschlussbauwerke“ behandelt.</i></p>
1.01.05	<p>Records and markers, repository</p> <p><i>FEP related to the retention of records of the content and nature of a repository after closure and also the placing of permanent markers at or near the site.</i></p>
	<p><i>Eine Markierung des Endlagers ist im Konzept der VSG nicht vorgesehen.</i></p>
1.01.06	<p>Waste allocation</p> <p><i>FEP related to the choices on allocation of wastes to the repository, including waste type(s) and amount(s).</i></p>
	<p><i>Das eingelagerte Inventar wird in den FEP in Abschnitt 2.01.01 behandelt. Im FEP-Katalog werden eventuelle Planungsungewissheiten bezüglich des Inventars nicht berücksichtigt.</i></p>

NEA No. NEA FEP	
NEA Short description	
	G-FEP-Nr. G-FEP-Bezeichnung / Bemerkung
1.01.07	Repository design
<i>FEP related to the design of the repository including both the safety concept, i.e. the general features of design and how they are expected to lead to a satisfactory performance, and the more detailed engineering specification for excavation, construction and operation.</i>	
	<i>Dem FEP-Katalog liegt ein spezifisches Endlagerkonzept zugrunde. Eventuelle Planungsungewissheiten werden im FEP-Katalog nicht berücksichtigt.</i>
1.01.08	Quality control
<i>FEP related to quality assurance and control procedures and tests during the design, construction and operation of the repository, as well as the manufacture of the waste forms, containers and engineered features</i>	
	<i>Die Folgen einer nicht fachgerecht durchgeführten Qualitätssicherung werden in den FEP 2.1.05.01 „Verschlussmaterialien“, 2.1.05.02 „Schachtverschlüsse“, 2.1.05.03 „Streckenverschlüsse“ und 2.1.05.05 „Sonstige Verschlussbauwerke“ behandelt.</i>
1.01.09	Schedule and planning
<i>FEP related to the sequence of events and activities occurring during repository excavation, construction, waste emplacement and sealing.</i>	
	<i>Es wurden keine unplanmäßigen Ereignisse während des Betriebes des Endlagers, die Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit des Endlagersystems haben, identifiziert. Die Auswirkungen der durch die Abfälle hervorgerufenen Wärmeentwicklung werden im FEP 2.1.11.01 „Wärmeproduktion“ behandelt.</i>
1.01.10	Administrative control, repository site
<i>FEP related to measures to control events at or around the repository site both during the operational period and after closure.</i>	
	<i>Für die Zeiträume vor und nach Verschluss des Endlagers werden mögliche Beweissicherungsmaßnahmen so angelegt, dass sie keinen Einfluss auf das Endlagersystem haben.</i>

NEA No. NEA FEP		
NEA Short description		
	G-FEP-Nr.	G-FEP-Bezeichnung / Bemerkung
1.01.11	Monitoring of repository	
<p><i>FEP related to any monitoring that is carried out during operations or following closure of sections of, or the total, repository. This includes monitoring for operational safety and also monitoring of parameters related to the long-term safety and performance.</i></p>		
	<p><i>Ein Monitoring des Endlagers ist im Konzept der VSG nicht vorgesehen.</i></p>	
1.01.12	Accidents and unplanned events	
<p><i>FEP related to accidents and unplanned events during excavation, construction, waste emplacement and closure which might have an impact on long-term performance or safety.</i></p>		
	1.1.12.01	Unplanmäßige Ereignisse in der Betriebsphase
	1.1.12.02	Kokillensticking
1.01.13	Retrievability	
<p><i>FEP related to any special design, emplacement, operational or administrative measures that might be applied or considered in order to enable or ease retrieval of wastes.</i></p>		
	<p><i>Eine Rückholung der Abfälle ist gemäß den Sicherheitsanforderungen nur während der Betriebsphase vorgesehen. Auswirkungen der geforderten Rückholbarkeit während der Betriebsphase auf die Nachverschlussphase werden in den FEP 2.1.03.01 „Brennelement-Behälter“ und 2.1.06.02 „Bohrlochverrohrung“ beschrieben.</i></p>	
1.2	GEOLOGICAL PROCESSES AND EFFECTS	
<p><i>Processes arising from the wider geological setting and long-term processes.</i></p>		
	1.2	
1.2.01	Tectonic movements and orogeny	
<p><i>Tectonic movements are movements of rock masses as a result of movements of the Earth's crustal plates; regionally the surface rocks respond to the underlying movements of plates. Orogeny is the process or period of mountain-building, often occurring over periods of hundreds of millions of years.</i></p>		
	1.2.01.01	Neotektonische Vorgänge
	1.2.01.02	Orogenese
	1.2.01.03	Senkung der Erdkruste
	1.2.01.04	Hebung der Erdkruste

NEA No. NEA FEP		
NEA Short description		
	G-FEP-Nr.	G-FEP-Bezeichnung / Bemerkung
1.02.02	Deformation, elastic, plastic or brittle	
<p><i>A fault is a fracture in the Earth's crust accompanied by displacement of one side of the fracture relative to the other. Fractures may be caused by compressional or tensional forces in the Earth's crust. Such forces may result in the activation of existing faults and, less likely, the generation of new faults.</i></p>		
	1.2.02.01	Krustendeformation
	1.2.02.02	Grabenbildung
1.2.03	Seismicity	
<p><i>FEP related to seismic events and also the potential for seismic events. A seismic event is caused by rapid relative movements within the Earth's crust usually along existing faults or geological interfaces. The accompanying release of energy may result in ground movement and/or rupture, e.g. earthquakes.</i></p>		
	1.2.03.01	Erdbeben
1.2.04	Volcanic and magmatic activities	
<p><i>Magma is molten, mobile rock material, generated below the Earth's crust, which gives rise to igneous rocks when solidified. Magmatic activity occurs when there is intrusion of magma into the crust. A volcano is a vent or fissure in the Earth's surface through which molten or part-molten materials (lava) may flow, and ash and hot gases be expelled.</i></p>		
	1.2.04.01	Magmatismus
1.2.05	Metamorphisms	
<p><i>The processes by which rocks are changed by the action of heat ($T > 200$ C) and pressure at great depths (usually several kilometres) beneath the Earth's surface or in the vicinity of magmatic activity.</i></p>		
	1.2.05.01	Gesteinsmetamorphose
1.2.06	Hydrothermal activity	
<p><i>FEP associated with high temperature groundwaters, including processes such as density-driven groundwater flow and hydrothermal alteration of minerals in the rocks through which the high temperature groundwater flows.</i></p>		
	1.2.06.01	Hydrothermale Aktivität

NEA No. NEA FEP		
<i>NEA Short description</i>		
	G-FEP-Nr.	G-FEP-Bezeichnung / Bemerkung
1.2.07	Erosion and sedimentation	
<i>FEP related to the large scale (geological) removal and accumulation of rocks and sediments, with associated changes in topography and geological/hydrogeological conditions of the repository host rock.</i>		
	1.2.07.01	Erosion
	1.2.07.02	Sedimentation
1.2.08	Diagenesis	
<i>The processes by which deposited sediments at or near the Earth's surface are formed into rocks by compaction, cementation and crystallisation, i.e. under conditions of temperature and pressure normal to the upper few kilometres of the earth's crust.</i>		
	1.2.08.01	Diagenese
1.2.09	Salt diapirism and dissolution	
<i>The large scale evolution of salt formations. Diapirism is the lateral or vertical intrusion or upwelling of either buoyant or non-buoyant rock, into overlying strata (the overburden) from a source layer. Dissolution of the salt may occur where the evolving salt formation is in contact with groundwaters with salt content below saturation.</i>		
	1.2.09.01	Diapirismus
	1.2.09.02	Subrosion
1.2.10	Hydrological/hydrogeological response to geological changes	
<i>FEP arising from large-scale geological changes. These could include changes of hydrological boundary conditions due to effects of erosion on topography, and changes of hydraulic properties of geological units due to changes in rock stress or fault movements.</i>		
<i>Die Wechselwirkungen zwischen den geologischen und hydrogeologischen FEP werden über die im FEP-Katalog ausgewiesenen Abhängigkeiten abgebildet.</i>		

NEA No. NEA FEP		
<i>NEA Short description</i>		
	G-FEP-Nr.	G-FEP-Bezeichnung / Bemerkung
1.3 CLIMATIC PROCESSES AND EFFECTS		
<i>Processes related to global climate change and consequent regional effects.</i>		
	1.3	
1.3.01 Climate change, global		
<i>FEP related to the possible future, and evidence for past, long term change of global climate. This is distinct from resulting changes that may occur at specific locations according to their regional setting and also climate fluctuations, c.f. FEP 1.3.02.</i>		
	1.3.01.01	Globale klimatische Veränderungen
1.3.02 Climate change, regional and local		
<i>FEP related to the possible future changes, and evidence for past changes, of climate at a repository site. This is likely to occur in response to global climate change, but the changes will be specific to situation, and may include shorter term fluctuations, c.f. FEP 1.3.01.</i>		
		<i>Die für die Langzeitsicherheit des Endlagersystems relevanten Klimaänderungen werden im FEP 1.3.01.01 „Globale klimatische Veränderungen“ behandelt.</i>
1.3.03 Sea level change		
<i>FEP related to changes in sea level which may occur as a result of global (eustatic) change and regional geological change, e.g. isostatic movements.</i>		
	1.3.03.01	Transgression oder Regression
1.3.04 Periglacial effects		
<i>FEP related to the physical processes and associated landforms in cold but ice-sheet-free environments.</i>		
	1.3.04.01	Permafrost
	1.3.04.02	Bildung kryogener Klüfte
1.3.05 Glacial and ice sheet effects, local		
<i>FEP related to the effects of glaciers and ice sheets within the region of a repository, e.g. changes in the geomorphology, erosion, meltwater and hydraulic effects. This is distinct from the effect of large ice masses on global and regional climate, c.f. FEP 1.3.01, 1.3.02.</i>		
	1.3.05.01	Inlandvereisung in randlicher Lage
	1.3.05.02	Vollständige Inlandvereisung
	1.3.05.03	Glaziale Rinnenbildung

NEA No. NEA FEP	
NEA Short description	
G-FEP-Nr.	G-FEP-Bezeichnung / Bemerkung
1.3.06	<p>Warm climate effects (tropical and desert)</p> <p><i>FEP related to warm tropical and desert climates, including seasonal effects, and meteorological and geomorphological effects special to these climates.</i></p>
	<p><i>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 mehreren Jahrtausenden zu erwarten. Daher sind die FEP in die Gruppe der langfristigen Prozesse einzustufen, die innerhalb der nächsten eine Million Jahre keine sicherheitsrelevante Bedeutung besitzen.</i></p>
1.3.07	<p>Hydrological/hydrogeological response to climate changes</p> <p><i>FEP related to changes in hydrology and hydrogeology, e.g. recharge, sediment load and seasonality, in response to climate change in a region.</i></p>
	<p><i>Die Wechselwirkungen zwischen den hydrogeologischen und den klimatischen FEP werden über die im FEP-Katalog ausgewiesenen Abhängigkeiten abgebildet.</i></p>
1.3.08	<p>Ecological response to climate changes</p> <p><i>FEP related to changes in ecology, e.g. vegetation, plant and animal populations, in response to climate change in a region.</i></p>
	<p><i>Die Prozesse in der Biosphäre sind nicht Gegenstand des FEP-Kataloges.</i></p>
1.3.09	<p>Human response to climate changes</p> <p><i>FEP related to changes in human behaviour, e.g. habits, diet, size of communities, in response to climate change in a region.</i></p>
	<p><i>Die Prozesse in der Biosphäre sind nicht Gegenstand des FEP-Kataloges.</i></p>

NEA No. NEA FEP		
NEA Short description		
	G-FEP-Nr.	G-FEP-Bezeichnung / Bemerkung
1.4	FUTURE HUMAN ACTIONS (ACTIVE)	
<i>Human actions and regional practices, in the post-closure period, that can potentially affect the performance of the engineered and/or geological barriers, e.g. intrusive actions, but not the passive behaviour and habits of the local population, c.f. 2.4.</i>		
	1.4	<i>Zukünftige menschliche Handlungen sind nicht Gegenstand des FEP-Kataloges.</i>
1.4.01	Human influences on climate	
<i>FEP related to human activities that could affect the change of climate either globally or in a region.</i>		
1.4.02	Motivation and knowledge issues (inadvertent/deliberate human actions)	
<i>FEP related to the degree of knowledge of the existence, location and/or nature of the repository. Also, reasons for deliberate interference with, or intrusion into, a repository after closure with complete or incomplete knowledge.</i>		
1.4.03	Un-intrusive site investigation	
<i>FEP related to airborne, geophysical or other surface-based investigation of a repository site after repository closure.</i>		
1.4.04	Drilling activities (human intrusion)	
<i>FEP related to any type of drilling activity in the vicinity of the repository. These may be taken with or without knowledge of the repository (see FEP 1.4.02).</i>		
1.4.05	Mining and other underground activities (human intrusion)	
<i>FEP related to any type of mining or excavation activity carried out in the vicinity of the repository. These may be taken with or without knowledge of the repository (see FEP 1.4.02).</i>		
1.4.06	Surface environment, human activities	
<i>FEP related to any type of human activities that may be carried out in the surface environment that can potentially affect the performance of the engineered and/or geological barriers, or the exposure pathways, excepting those FEP related to water management which are at FEP 1.4.07.</i>		
1.4.07	Water management (wells, reservoirs, dams)	
<i>FEP related to groundwater and surface water management including water extraction, reservoirs, dams, and river management.</i>		

NEA No. NEA FEP		
<i>NEA Short description</i>		
	G-FEP-Nr.	G-FEP-Bezeichnung / Bemerkung
1.4.08	Social and institutional developments	
<i>FEP related to changes in social patterns and degree of local government, planning and regulation.</i>		
1.4.09	Technological developments	
<i>FEP related to future developments in human technology and changes in the capacity and motivation to implement technologies. This may include retrograde developments, e.g. loss of capacity to implement a technology.</i>		
1.4.10	Remedial actions	
<i>FEP related to actions that might be taken following repository closure to remedy problems with a waste repository that, either, was not performing to the standards required, had been disrupted by some natural event or process, or had been inadvertently or deliberately damaged by human actions.</i>		
1.4.11	Explosions and crashes	
<i>FEP related to deliberate or accidental explosions and crashes such as might have some impact on a closed repository, e.g. underground nuclear testing, aircraft crash on the site, acts of war.</i>		
1.5	OTHER	
<i>A "catch-all" for any external factor not accommodated in 1.1 to 1.4, e.g. meteorite impact.</i>		
	1.5	
1.5.01	Meteorite impact	
<i>The possibility of a large meteorite impact occurring at or close to the repository site and related consequences.</i>		
	1.5.01.01	Meteoriteneinschlag
1.5.02	Species evolution	
<i>FEP related to the biological evolution of humans, other animal or plant species, by both natural selection and selective breeding/culturing.</i>		
		<i>Die Prozesse in der Biosphäre sind nicht Gegenstand des FEP-Kataloges.</i>

NEA No. NEA FEP		
<i>NEA Short description</i>		
	G-FEP-Nr.	G-FEP-Bezeichnung / Bemerkung
1.5.03	Miscellaneous and FEP of uncertain relevance	
<i>FEP that cannot be mapped anywhere else on the International FEP List also FEP which have been identified, but no connection made to possible effects on repository performance.</i>		
	1.5.03.01	Wegsamkeiten in Erkundungsbohrungen
2	DISPOSAL SYSTEM DOMAIN: ENVIRONMENTAL FACTORS	
<i>Features and processes occurring within that spatial and temporal (postclosure) domain whose principal effect is to determine the evolution of the physical, chemical, biological and human conditions of the domain that are relevant to estimating the release and migration of radionuclides and consequent exposure to man.</i>		
	2	
2.1	WASTES AND ENGINEERED FEATURES	
<i>Features and processes within the waste and engineered components of the disposal system.</i>		
	2.1	
2.1.01	Inventory, radionuclide and other material	
<i>FEP related to the total content of the repository of a given type of material, substance, element, individual radionuclides, total radioactivity or inventory of toxic substances.</i>		
	2.1.01.01	Inventar: Radionuklide
	2.1.01.02	Inventar: Metalle
	2.1.01.03	Inventar: Organika
	2.1.01.04	Inventar: Sonstige Stoffe
2.1.02	Waste form materials and characteristics	
<i>FEP related to the physical, chemical, biological characteristics of the waste form at the time of disposal and also as they may evolve in the repository, including FEP which are relevant specifically as waste degradation processes.</i>		
	2.1.02.01	Abfallmatrix
2.1.03	Container materials and characteristics	
<i>FEP related to the physical, chemical, biological characteristics of the container at the time of disposal and also as they may evolve in the repository, including FEP which are relevant specifically as container degradation/failure processes.</i>		

NEA No. NEA FEP		
<i>NEA Short description</i>		
	G-FEP-Nr.	G-FEP-Bezeichnung / Bemerkung
	2.1.03.01	Brennelement-Behälter
	2.1.03.02	Sonstige Endlagerbehälter
	2.1.03.03	Versagen eines Brennelement-Behälters
	2.1.03.04	Ausfall eines sonstigen Endlagerbehälters
2.1.04	Buffer/backfill materials and characteristics	
	<i>FEP related to the physical, chemical, biological characteristics of the buffer and/or backfill at the time of disposal and also as they may evolve in the repository, including FEP which are relevant specifically as buffer/backfill degradation processes.</i>	
	2.1.04.01	Versatz
2.1.05	Seals, cavern/tunnel/shaft	
	<i>FEP related to the design, physical, chemical, hydraulic etc. characteristics of the cavern/tunnel/shaft seals at the time of sealing and also as they may evolve in the repository, including FEP which are relevant specifically as cavern/tunnel/shaft seal degradation processes.</i>	
	2.1.05.01	Verschlussmaterial
	2.1.05.02	Schachtverschlüsse
	2.1.05.03	Streckenverschlüsse
	2.1.05.04	Alteration von Strecken- und Schachtverschlüssen
	2.1.05.05	Sonstige Verschlussbauwerke
2.1.06	Other engineered features materials and characteristics	
	<i>FEP related to the physical, chemical, biological characteristics of the engineered features (other than containers, buffer/backfill, and seals) at the time of disposal and also as they may evolve in the repository, including FEP which are relevant specifically as degradation processes acting on the engineered features.</i>	
	2.1.06.01	Technische Einrichtungen und deren Eigenschaften
	2.1.06.02	Bohrlochverrohrung
	2.1.06.03	Ausfall einer Bohrlochverrohrung

NEA No. NEA FEP		
NEA Short description		
	G-FEP-Nr.	G-FEP-Bezeichnung / Bemerkung
2.1.07	Mechanical processes and conditions (in wastes and EBS ³)	
<p><i>FEP related to the mechanical processes that affect the wastes, containers, seals and other engineered features, and the overall mechanical evolution of near field with time. This includes the effects of hydraulic and mechanical loads imposed on wastes, containers and repository components by the surrounding geology.</i></p>		
	2.1.07.01	Konvergenz
	2.1.07.02	Fluiddruck
	2.1.07.03	Salzgruskompaktion
	2.1.07.04	Nicht thermisch induzierte Volumenänderung von Materialien
	2.1.07.05	Vorzeitiges Versagen eines Schachtverschlusses
	2.1.07.06	Vorzeitiges Versagen eines Streckenverschlusses
	2.1.07.07	Lageverschiebung des Schachtverschlusses
	2.1.07.08	Ausfall eines Dichtpfropfens
2.1.08	Hydraulic/hydrogeological processes and conditions (in wastes and EBS)	
<p><i>FEP related to the hydraulic/hydrogeological processes that affect the wastes, containers, seals and other engineered features, and the overall hydraulic/hydrogeological evolution of near field with time. This includes the effects of hydraulic/hydrogeological influences on wastes, containers and repository components by the surrounding geology.</i></p>		
	2.1.08.01	Porosität
	2.1.08.02	Permeabilität
	2.1.08.03	Lösungen im Grubenbau
	2.1.08.04	Kanalisation im Salzgrus
	2.1.08.05	Kanalisation in Dichtelementen
	2.1.08.06	Lösungszutritt ins Grubengebäude
	2.1.08.07	Strömungsvorgänge im Grubengebäude
	2.1.08.08	Quellen des Bentonits

³ EBS: Engineered barrier system

NEA No. NEA FEP		
NEA Short description		
	G-FEP-Nr.	G-FEP-Bezeichnung / Bemerkung
2.1.09	Chemical/geochemical processes and conditions (in wastes and EBS)	
<p><i>FEP related to the chemical/geochemical processes that affect the wastes, containers, seals and other engineered features, and the overall chemical/geochemical evolution of near field with time. This includes the effects of chemical/geochemical influences on wastes, containers and repository components by the surrounding geology.</i></p>		
	2.1.09.01	Geochemisches Milieu im Grubenbau
	2.1.09.02	Auflösung und Ausfällung
	2.1.09.03	Metallkorrosion
	2.1.09.04	Korrosion der Brennstoffmatrix
	2.1.09.05	Korrosion von Glas
	2.1.09.06	Korrosion von Materialien mit Zement- oder Sorelphasen
	2.1.09.07	Materialversprödung durch Wasserstoffaufnahme
	2.1.09.08	Verhalten von graphithaltigen Materialien und Urantails
2.1.10	Biological/biochemical processes and conditions (in wastes and EBS)	
<p><i>FEP related to the biological/biochemical processes that affect the wastes, containers, seals and other engineered features, and the overall biological/biochemical evolution of near field with time. This includes the effects of biological/biochemical influences on wastes, containers and repository components by the surrounding geology.</i></p>		
	2.1.10.01	Zersetzung von Organika
	2.1.10.02	Mikrobielle Prozesse im Grubenbau und im Salzstock
2.1.11	Thermal processes and conditions (in wastes and EBS)	
<p><i>FEP related to the thermal processes that affect the wastes, containers, seals and other engineered features, and the overall thermal evolution of the near field with time. This includes the effects of heat on wastes, containers and repository components from the surrounding geology.</i></p>		
	2.1.11.01	Wärmeproduktion
	2.1.11.02	Thermische Expansion oder Kontraktion
	2.1.11.03	Verdampfen von Wasser

NEA No. NEA FEP		
<i>NEA Short description</i>		
	G-FEP-Nr.	G-FEP-Bezeichnung / Bemerkung
2.1.12	Gas sources and effects (in wastes and EBS)	
<i>FEP within and around the wastes, containers and engineered features resulting in the generation of gases and their subsequent effects on the repository system.</i>		
	2.1.12.01	Gasbildung
	2.1.12.02	Gasmenge im Grubenbau
	2.1.12.03	Gaseindringdruck
	2.1.12.04	Zündfähige Gasgemische
2.1.13	Radiation effects (in wastes and EBS)	
<i>FEP related to the effects that result from the radiation emitted from the wastes that affect the wastes, containers, seals and other engineered features, and the overall radiogenic evolution of the near field with time.</i>		
	2.1.13.01	Strahlungsinduzierte Aktivierung
	2.1.13.02	Materialversprödung durch Strahlung
	2.1.13.03	Radiolyse
2.1.14	Nuclear criticality	
<i>FEP related to the possibility and effects of spontaneous nuclear fission chain reactions within the repository.</i>		
	2.1.14.01	Kritikalität

NEA No. NEA FEP		
<i>NEA Short description</i>		
	G-FEP-Nr.	G-FEP-Bezeichnung / Bemerkung
2.2 GEOLOGICAL ENVIRONMENT		
<i>The features and processes within this environment including, for example, the hydrogeological, geomechanical and geochemical features and processes, both in pre-emplacment state and as modified by the presence of the repository and other long-term changes.</i>		
	2.2	
2.2.01 Excavation disturbed zone, host rock		
<i>FEP related to the zone of rock around caverns, tunnels, shafts or other underground openings that may be mechanically disturbed during excavation, and the properties and characteristics as they may evolve both before and after repository closure.</i>		
	2.2.01.01	Auflockerungszone
2.2.02 Host rock		
<i>FEP related to the properties and characteristics of the rock in which the repository is sited (excluding the rock that may be mechanically disturbed by the excavation) as they may evolve both before and after repository closure.</i>		
	2.2.02.01	Wirtsgestein
	2.2.02.02	Störungen und Klüfte im Wirtsgestein
2.2.03 Geological units, other		
<i>FEP related to the properties and characteristics of rocks other than the host rock as they may evolve both before and after repository closure.</i>		
	2.2.03.01	Deck- und Nebengebirge
2.2.04 Discontinuities, large scale (in geosphere)		
<i>FEP related to the properties and characteristics of discontinuities in and between the host rock and geological units, including faults, shear zones, intrusive dykes and interfaces between different rock types.</i>		
	2.2.04.01	Störungen und Störungszonen im Deck- und Nebengebirge

NEA No. NEA FEP		
NEA Short description		
	G-FEP-Nr.	G-FEP-Bezeichnung / Bemerkung
2.2.05 Contaminants transport path characteristics (in geosphere)		
<i>FEP related to the properties and characteristics of smaller discontinuities and features within the host rock and other geological units that are expected to be the main paths for contaminant transport through the geosphere, as they may evolve both before and after repository closure.</i>		
		<i>Die Eigenschaften der Transportpfade in der Geosphäre werden in den FEP 2.2.02.02 „Störungen und Klüfte im Wirtsgestein“, 2.2.04.01 „Störungen und Störungszonen im Deck- und Nebengebirge“, 2.2.07.03 „Grundwasserströmung im Deck- und Nebengebirge“, 2.2.07.04 „Gasströmung im Deck- und Nebengebirge“ sowie 2.2.08.01 „Hydrochemische Verhältnisse im Deck- und Nebengebirge“ behandelt.</i>
2.2.06 Mechanical processes and conditions (in geosphere)		
<i>FEP related to the mechanical processes that affect the host rock and other rock units, and the overall evolution of conditions with time. This includes the effects of changes in condition, e.g. rock stress, due to the excavation, construction and long-term presence of the repository.</i>		
	2.2.06.01	Spannungsänderung und Spannungsumlagerung
	2.2.06.02	Selbstversatz
2.2.07 Hydraulic/hydrogeological processes and conditions (in geosphere)		
<i>FEP related to the hydraulic and hydrogeological processes that affect the host rock and other rock units, and the overall evolution of conditions with time. This includes the effects of changes in condition, e.g. hydraulic head, due to the excavation, construction and long-term presence of the repository.</i>		
	2.2.07.01	Fluidvorkommen im Wirtsgestein
	2.2.07.02	Kohlenwasserstoffvorkommen im Wirtsgestein
	2.2.07.03	Grundwasserströmung im Deck- und Nebengebirge
	2.2.07.04	Gasströmung im Deck- und Nebengebirge
2.2.08 Chemical/geochemical processes and conditions (in geosphere)		
<i>FEP related to the chemical and geochemical processes that affect the host rock and other rock units, and the overall evolution of conditions with time. This includes the effects of changes in condition, e.g. Eh, pH, due to the excavation, construction and long-term presence of the repository.</i>		
	2.2.08.01	Hydrochemische Verhältnisse im Deck- und Nebengebirge

NEA No. NEA FEP		
NEA Short description		
	G-FEP-Nr.	G-FEP-Bezeichnung / Bemerkung
2.2.09	Biological/biochemical processes and conditions (in geosphere)	
<i>FEP related to the biological and biochemical processes that affect the host rock and other rock units, and the overall evolution of conditions with time. This includes the effects of changes in condition, e.g. microbe populations, due to the excavation, construction and long-term presence of the repository.</i>		
	2.2.09.01	Mikrobielle Prozesse im Deck- und Nebengebirge
2.2.10	Thermal processes and conditions (in geosphere)	
<i>FEP related to the thermal processes that affect the host rock and other rock units, and the overall evolution of conditions with time. This includes the effects of changes in condition, e.g. temperature, due to the excavation, construction and long-term presence of the repository.</i>		
	2.2.10.01	Wärmebedingte Hebung oder Senkung des Deckgebirges
	2.2.10.02	Thermomigration
	2.2.10.03	Thermische Carnallitzersetzung
	2.2.10.04	Schmelzen des Salzgesteins
	2.2.10.05	Thermochemische Sulfatreduktion
2.2.11	Gas sources and effects (in geosphere)	
<i>FEP related to natural gas sources and production of gas within the geosphere and also the effect of natural and repository produced gas on the geosphere, including the transport of bulk gases and the overall evolution of conditions with time.</i>		
	2.2.11.01	Druckgetriebene Infiltration von Fluiden in das Salzgestein
2.2.12	Undetected features (in geosphere)	
<i>FEP related to natural or man-made features within the geology that may not be detected during the site investigation.</i>		
<i>Die Berücksichtigung unerkannter Merkmale durch eine falsche geologische Interpretation von geologischen Erkundungsergebnissen erfolgt nicht im FEP-Katalog sondern im Rahmen der Szenarienentwicklung.</i>		

NEA No. NEA FEP		
NEA Short description		
	G-FEP-Nr.	G-FEP-Bezeichnung / Bemerkung
2.2.13	Geological resources	
<i>FEP related to natural resources within the geosphere, particularly those that might encourage investigation or excavation at or near the repository site.</i>		
		<i>Das Vorhandensein oder die Vermutung eines Rohstoffvorkommens könnte Anlass für zukünftige Generationen sein, mit geologischen Erkundungen und Bohraktivitäten im Gebiet des Endlagerstandortes zu beginnen, durch die es zu einer Beeinträchtigung der geologischen und geotechnischen Barrieren kommen kann. Zukünftige menschliche Handlungen sind nicht Gegenstand des FEP-Kataloges.</i>
2.3	SURFACE ENVIRONMENT	
<i>The features and processes within the surface environment, including near-surface aquifers and unconsolidated sediments but excluding human activities and behaviour, see 1.4 and 2.4.</i>		
	2.3	
2.3.01	Topography and morphology	
<i>FEP related to the relief and shape of the surface environment and its evolution.</i>		
	2.3.01.01	Topografie
2.3.02	Soil and sediment	
<i>FEP related to the characteristics of the soils and sediments and their evolution.</i>		
		<i>Bei der Behandlung von endlagerrelevanten Prozessen in der Geosphäre spielen die Böden keine Rolle.</i>
2.3.03	Aquifers and water-bearing features, near surface	
<i>FEP related to the characteristics of aquifers and water-bearing features within a few metres of the land surface and their evolution.</i>		
		<i>Der Einfluss der Aquifere auf die Eigenschaften der Geosphäre wird in den FEP 2.2.03.01 „Deck- und Nebengebirge“ und 2.2.07.03 „Grundwasserströmung im Deck- und Nebengebirge“ beschrieben.</i>

NEA No. NEA FEP	
<i>NEA Short description</i>	
	G-FEP-Nr. G-FEP-Bezeichnung / Bemerkung
2.3.04	Lakes, rivers, streams and springs <i>FEP related to the characteristics of terrestrial surface water bodies and their evolution.</i>
	2.3.04.01 Oberflächengewässer
2.3.05	Coastal features <i>FEP related to the characteristics of coasts and the near shore, and their evolution. Coastal features include headlands, bays, beaches, spits, cliffs and estuaries.</i>
	<i>Die Auswirkungen eines möglichen Meeresspiegelanstieges und einer daraus resultierenden Verlagerung der Küstenlinien ist im FEP 1.3.03.01 „Transgression oder Regression“ behandelt.</i>
2.3.06	Marine features <i>FEP related to the characteristics of seas and oceans, including the sea bed, and their evolution. Marine features include oceans, ocean trenches, shallow seas, and inland seas.</i>
	<i>Die Auswirkungen eines möglichen Meeresspiegelanstieges und einer daraus resultierenden Verlagerung der Küstenlinien ist im FEP 1.3.03.01 „Transgression oder Regression“ behandelt.</i>
2.03.07	Atmosphere <i>FEP related to the characteristics of the atmosphere, including capacity for transport, and their evolution.</i>
	<i>Die Auswirkungen von innerhalb der Atmosphäre ablaufenden Vorgängen, die oberflächennah das Deck- und Nebengebirge beeinflussen, werden in den FEP 1.2.07.01 „Erosion“ und 1.2.07.02 „Sedimentation“ behandelt.</i>
2.03.08	Vegetation <i>FEP related to the characteristics of terrestrial and aquatic vegetation both as individual plants and in mass, and their evolution.</i>
	<i>Die Prozesse in der Biosphäre sind nicht Gegenstand des FEP-Kataloges.</i>

NEA No. NEA FEP	
NEA Short description	
G-FEP-Nr.	G-FEP-Bezeichnung / Bemerkung
2.03.09	Animal population <i>FEP related to the characteristics of the terrestrial and aquatic animals both as individual animals and as populations, and their evolution.</i>
	<i>Die Prozesse in der Biosphäre sind nicht Gegenstand des FEP-Kataloges.</i>
2.03.10	Meteorology <i>FEP related to the characteristics of weather and climate, and their evolution.</i>
	<i>Die Auswirkungen von innerhalb der Atmosphäre ablaufenden Vorgängen, die oberflächennah das Deck- und Nebengebirge beeinflussen, werden in den FEP 1.2.07.01 „Erosion“ und 1.2.07.02 „Sedimentation“ behandelt. Langfristige meteorologische Einwirkungen auf das Endlagersystem werden in den klimatischen FEP in Abschnitt 1.3 behandelt.</i>
2.3.11	Hydrological regime and water balance (near-surface) <i>FEP related to near-surface hydrology at a catchment scale and also soil water balance, and their evolution.</i>
	<i>Die Auswirkungen hydrologischer Prozesse auf das Endlagersystem werden in den FEP 2.2.07.03 „Grundwasserströmung im Deck- und Nebengebirge“ und 2.3.04.01 „Oberflächengewässer“ beschrieben.</i>
2.3.12	Erosion and deposition <i>FEP related to all the erosional and depositional processes that operate in the surface environment, and their evolution.</i>
	<i>Die Auswirkungen von relevanten exogenen geologischen Prozessen werden in den FEP 1.2.07.01 „Erosion“ und 1.2.07.02 „Sedimentation“ behandelt.</i>
2.3.13	Ecological/biological/microbial systems <i>FEP related to living organisms and relations between populations of animals, plants and their evolution.</i>
	<i>Die Prozesse in der Biosphäre sind nicht Gegenstand des FEP-Kataloges.</i>

NEA No. NEA FEP		
<i>NEA Short description</i>		
	G-FEP-Nr.	G-FEP-Bezeichnung / <i>Bemerkung</i>
2.4	HUMAN BEHAVIOUR	
<i>The habits and characteristics of the individuals or populations, e.g. critical groups, to whom exposures are calculated, not including intrusive or other activities which will have an impact on the performance of the engineered or geological barriers, see 1.4.</i>		
	2.4	<i>Die Prozesse in der Biosphäre sind nicht Gegenstand des FEP-Kataloges.</i>
2.4.01	Human characteristics (physiology, metabolism)	
<i>FEP related to characteristics, e.g. physiology, metabolism, of individual humans.</i>		
2.4.02	Adults, children, infants and other variations	
<i>FEP related to considerations of variability, in individual humans, of physiology, metabolism and habits.</i>		
2.4.03	Diet and fluid intake	
<i>FEP related to intake of food and water by individual humans and the compositions and origin of intake.</i>		
2.4.04	Habits (non-diet-related behaviour)	
<i>FEP related to non-diet related behaviour of individual humans, including time spent in various environments, pursuit of activities and uses of materials.</i>		
2.4.05	Community characteristics	
<i>FEP related to characteristics, behaviour and lifestyle of groups of humans that might be considered as target groups in an assessment.</i>		
2.4.06	Food and water processing and preparation	
<i>FEP related to treatment of food stuffs and water between raw origin and consumption.</i>		
2.4.07	Dwellings	
<i>FEP related to houses or other structures or shelter in which humans spend time.</i>		
2.4.08	Wild and natural land and water use	
<i>FEP related to use of natural or semi-natural tracts of land and water such as forest, bush and lakes.</i>		

NEA No. NEA FEP		
<i>NEA Short description</i>		
	G-FEP-Nr.	G-FEP-Bezeichnung / Bemerkung
2.4.09	Rural and agricultural land and water use (incl. fisheries)	
<i>FEP related to use of permanently or sporadically agriculturally managed land and managed fisheries.</i>		
2.4.10	Urban and industrial land and water use	
<i>FEP related to urban and industrial developments, including transport, and their effects on hydrology and potential contaminant pathways.</i>		
2.4.11	Leisure and other uses of environment	
<i>FEP related to leisure activities, the effects on the surface environment and implications for contaminant exposure pathways.</i>		
3	DISPOSAL SYSTEM DOMAIN: RADIONUCLIDE/CONTAMINANT FACTORS	
<i>Features and processes occurring within that spatial and temporal (postclosure) domain whose principal effect is to determine the evolution of the physical, chemical, biological and human conditions of the domain that are relevant to estimating the release and migration of radionuclides and consequent exposure to man.</i>		
	3	
3.1	CONTAMINANT CHARACTERISTICS	
<i>FEP that take place in the disposal system domain that directly affect the release and migration of radionuclides and other contaminants, or directly affect the dose to members of a critical group from given concentrations of radiotoxic and chemotoxic species in environmental media.</i>		
	3.1	
3.1.01	Radioactive decay and in-growth	
<i>Radioactivity is the spontaneous disintegration of an unstable atomic nucleus resulting in the emission of subatomic particles. Radioactive isotopes are known as radionuclides. Where a parent radionuclide decays to a daughter nuclide so that the population of the daughter nuclide increases this is known as in-growth.</i>		
	3.1.01.01	Radioaktiver Zerfall

NEA No. NEA FEP	
NEA Short description	
G-FEP-Nr.	G-FEP-Bezeichnung / Bemerkung
3.1.02	Chemical/organic toxin stability <i>FEP related to chemical stability of chemotoxic species.</i>
	<i>Die Sicherheitsbewertung des Endlagers wird gemäß Sicherheitsanforderungen so verfasst, dass die Voraussetzungen zum Nachweis des dauerhaften Schutzes von Mensch und Umwelt neben dem Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen auch vor sonstigen schädlichen Wirkungen der eingelagerten Abfälle gegeben sind. Die Nachweise selbst sind jedoch nach den wasserrechtlichen Bestimmungen zu führen. Entsprechende FEP sind daher nicht Gegenstand des FEP-Kataloges.</i>
3.1.03	Inorganic solids/solutes <i>FEP related to the characteristics of inorganic solids/solutes that may be considered.</i>
	<i>Siehe die FEP „Inventar: Metalle“, und „Inventar: Sonstige Stoffe“ in Abschnitt 2.1.01, den FEP 2.1.02.01 „Abfallmatrix“ sowie den FEP 2.1.04.01 „Versatz“.</i>
3.1.04	Volatiles and potential for volatility <i>FEP related to the characteristics of radiotoxic and chemotoxic species that are volatile or have the potential for volatility in repository or environmental conditions.</i>
	<i>Siehe die FEP 2.1.01.01 „Inventar: Radionuklide“ und 3.2.09.01 „Radionuklidtransport in der Gasphase“</i>
3.01.05	Organics and potential for organic forms <i>FEP related to the characteristics of radiotoxic and chemotoxic species that are organic or have the potential to form organics in repository or environmental conditions.</i>
	<i>Siehe FEP 2.1.01.03 „Inventar: Organika“</i>
3.1.06	Noble gases <i>FEP related to the characteristics of noble gases.</i>
	<i>Siehe die FEP 2.1.01.01 „Inventar: Radionuklide“ und 3.2.09.01 „Radionuklidtransport in der Gasphase“</i>

NEA No. NEA FEP		
<i>NEA Short description</i>		
	G-FEP-Nr.	G-FEP-Bezeichnung / Bemerkung
3.2 CONTAMINANT RELEASE/MIGRATION FACTORS		
<i>The processes that directly affect the release and/or migration of radionuclides in the disposal system domain.</i>		
3.2.01 Dissolution, precipitation and crystallisation, contaminant		
<i>FEP related to the dissolution, precipitation and crystallisation of radiotoxic and chemotoxic species under repository or environmental conditions.</i>		
	3.2.01.01	Radionuklidmobilisierung
3.2.02 Speciation and solubility, contaminant		
<i>FEP related to the chemical speciation and solubility of radiotoxic and chemotoxic species in repository or environmental conditions.</i>		
		<i>Die Speziation und Löslichkeit eines Stoffes werden in den FEP 2.1.09.01 „Geochemisches Milieu im Grubenbau“ und 2.1.09.02 „Auflösung und Ausfällung“ behandelt.</i>
3.2.03 Sorption/desorption processes, contaminant		
<i>FEP related to sorption/desorption of radiotoxic and chemotoxic species in repository or environmental conditions.</i>		
	3.2.03.01	Sorption und Desorption
3.2.04 Colloids, contaminant interactions and transport with		
<i>FEP related to the transport of colloids and interaction of radiotoxic and chemotoxic species with colloids in repository or environmental conditions.</i>		
	3.2.04.01	Kolloide
3.2.05 Chemical/complexing agents, effects on contaminant speciation/transport		
<i>FEP related to the modification of speciation or transport of radiotoxic and chemotoxic species in repository or environmental conditions due to association with chemical and complexing agents.</i>		
	3.2.05.01	Komplexbildung

NEA No. NEA FEP		
NEA Short description		
	G-FEP-Nr.	G-FEP-Bezeichnung / Bemerkung
3.2.06	Microbial/biological/plant-mediated processes, contaminant	
	<i>FEP related to the modification of speciation or phase change due to microbial/biological/plant activity.</i>	
	<i>Mikrobielle Prozesse werden in den FEP 3.2.04.01 „Kolloide“ sowie 2.1.10.02 „Mikrobielle Prozesse im Grubengebäude und im Salzstock“ und 2.2.09.01 „Mikrobielle Prozesse im Deck- und Nebengebirge“ behandelt.</i>	
3.2.07	Water-mediated transport of contaminants	
	<i>FEP related to transport of radiotoxic and chemotoxic species in groundwater and surface water in aqueous phase and as sediments in surface water bodies.</i>	
	3.2.07.01	Radionuklidtransport in der flüssigen Phase
	3.2.07.02	Advektion
	3.2.07.03	Mechanische Dispersion
	3.2.07.04	Diffusion
	3.2.07.05	Matrixdiffusion
	3.2.07.06	Sonstige Transportprozesse
3.2.08	Solid-mediated transport of contaminants	
	<i>FEP related to transport of radiotoxic and chemotoxic species in solid phase, for example large-scale movements of sediments, landslide, solifluction and volcanic activity.</i>	
	3.2.08.01	Hebung oder Absinken von Endlagerbehältern
3.2.09	Gas-mediated transport of contaminants	
	<i>FEP related to transport of radiotoxic and chemotoxic species in gas or vapour phase or as fine particulate or aerosol in gas or vapour.</i>	
	3.2.09.01	Radionuklidtransport in der Gasphase

NEA No. NEA FEP	
NEA Short description	
G-FEP-Nr.	G-FEP-Bezeichnung / Bemerkung
3.2.10	<p>Atmospheric transport of contaminants</p> <p><i>FEP related to transport of radiotoxic and chemotoxic species in the air as gas, vapour, fine particulate or aerosol.</i></p>
	<i>Die Prozesse in der Biosphäre sind nicht Gegenstand des FEP-Kataloges.</i>
3.2.11	<p>Animal, plant and microbe mediated transport of contaminants</p> <p><i>FEP related to transport of radiotoxic and chemotoxic species as a result of animal, plant and microbial activity.</i></p>
	<i>Die Prozesse in der Biosphäre sind nicht Gegenstand des FEP-Kataloges.</i>
3.2.12	<p>Human-action-mediated transport of contaminants</p> <p><i>FEP related to transport of radiotoxic and chemotoxic species as a direct result of human actions.</i></p>
	<i>Die Prozesse in der Biosphäre sind nicht Gegenstand des FEP-Kataloges.</i>
3.2.13	<p>Foodchains, uptake of contaminants in</p> <p><i>FEP related to incorporation of radiotoxic and chemotoxic species into plant or animal species that are part of the possible eventual food chain to humans.</i></p>
	<i>Die Prozesse in der Biosphäre sind nicht Gegenstand des FEP-Kataloges.</i>
3.3	<p>EXPOSURE FACTORS</p> <p><i>Processes and conditions that directly affect the dose to members of the critical group, from given concentrations of radionuclides in environmental media.</i></p>
	<i>Die Prozesse in der Biosphäre sind nicht Gegenstand des FEP-Kataloges.</i>
3.3.01	<p>Drinking water, foodstuffs and drugs, contaminant concentrations in</p> <p><i>FEP related to the presence of radiotoxic and chemotoxic species in drinking water, foodstuffs or drugs that may be consumed by human.</i></p>
3.3.02	<p>Environmental media, contaminant concentrations in</p> <p><i>FEP related to the presence of radiotoxic and chemotoxic species in environmental media other than drinking water, foodstuffs or drugs.</i></p>

NEA No. NEA FEP		
<i>NEA Short description</i>		
	G-FEP-Nr.	G-FEP-Bezeichnung / Bemerkung
3.3.03	Non-food products, contaminant concentrations in	<i>FEP related to the presence of radiotoxic and chemotoxic species in human manufactured materials or environmental materials that have special uses, e.g. clothing, building materials, peat.</i>
3.3.04	Exposure modes	<i>FEP related to the exposure of man (or other organisms) to radiotoxic and chemotoxic species.</i>
3.3.05	Dosimetry	<i>FEP related to the dependence between radiation or chemotoxic effect and amount and distribution of radiation or chemical agent in organs of the body.</i>
3.3.06	Radiological toxicity/effects	<i>FEP related to the effect of radiation on man or other organisms.</i>
3.3.07	Non-radiological toxicity/effects	<i>FEP related to the effects of chemotoxic species on man or other organisms.</i>
3.3.08	Radon and radon daughter exposure	<i>FEP related to exposure to radon and radon daughters.</i>

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

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

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

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

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

www.grs.de

**Bundesanstalt für Geowissen-
schaften und Rohstoffe**
Stilleweg 2
30655 Hannover

DBE TECHNOLOGY GmbH
Eschenstraße 55
31224 Peine

Institut für Gebirgsmechanik GmbH
Friederikenstraße 60
04279 Leipzig

**Karlsruher Institut für Technologie
Institut für Nukleare Entsorgung**
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen