


Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung								 BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG	
Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 456
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
SG	0330				EA	TF	0002	00	

8.2 Ableitungen von Entwicklungen

8.2.1 Zusammenfassung

In den rvSU werden erstmals im Standortauswahlverfahren mögliche künftige Entwicklungen des Endlagersystems systematisch abgeleitet. Dabei werden sogenannte zu erwartende und abweichende Entwicklungen betrachtet (§ 7 Abs. 6 Nr. 1 EndlSiUntV). Diese bilden die Grundlage für die Bewertung der Langzeitsicherheit eines Endlagersystems und basieren auf der systematischen Betrachtung von FEP-Katalogen (*Features, Events and Processes*, Deutsch: Komponenten, Ereignisse und Prozesse) in Verbindung mit den Sicherheitsfunktionen (siehe Kapitel 4.1.3). Ein FEP-Katalog ist eine systematische, gegliederte Beschreibung eines Endlagersystems und der darin bestehenden Beeinflussungen und Abhängigkeiten von Prozessen und Komponenten.

Das vorliegende Konzept beschreibt die Methodik zur Aufstellung der FEP-Kataloge für den Schritt 2 der Phase I des Standortauswahlverfahrens sowie die Vorgehensweise für die Ableitung der Entwicklungen mittels Szenarien, siehe Abbildung 157.

Im Schritt 2 der Phase I des Standortauswahlverfahrens wird ein FEP-Katalog auf Basis der FEP-Kataloge aus internationalen und nationalen Projekten sowie unter der Berücksichtigung der verfahrensspezifischen Anforderungen und Vorgaben des Standortauswahlgesetzes (StandAG) und nachfolgender Verordnungen erstellt. Es werden die geogenen Prozesse, die im Bereich der Teilgebiete in Deutschland auftreten, zusammengestellt. Dies ergibt eine geowissenschaftliche Langzeitprognose, die alle Untersuchungsräume abdeckt. Im Anschluss erfolgt ein Screening²¹ pro Wirtsgestein (Steinsalz, Tongestein, Kristallin) und der sich in den Endlagersystemen ergebenden Abhängigkeiten der FEP. Das Ergebnis sind fünf wirtsgesteinsspezifische FEP-Kataloge für die jeweiligen Wirtsgesteine, wobei für Steinsalz und für das kristalline Wirtsgestein zwei Kataloge erstellt werden, um sowohl die steile, bzw. stratiforme Lagerung (Steinsalz) und die Endlagersysteme Typ 1, bzw. 2 (Kristallin) abzubilden (Kapitel 4.1). Dies ist notwendig um die spezifischen Unterschiede im Endlagersystem, welche sich aus dem Wirtsgestein in Verbindung mit einem Sicherheitskonzept und der wirtsgesteinsspezifischen Auslegung des Endlagers ergeben, berücksichtigen zu können. Die in der Phase I erarbeiteten FEP-Kataloge bieten gleichzeitig eine Grundlage für detailliertere FEP-Kataloge, die in der Phase II des Standortauswahlverfahrens zur Anwendung kommen sollen.

Im Schritt 2 der Phase I werden die wirtsgesteinsspezifischen FEP-Kataloge als Basis für eine wirtsgesteinsspezifische Ableitung der zu erwartenden und abweichenden Entwicklungen genutzt. In der wirtsgesteinsspezifischen Ableitung der Entwicklungen werden im wesentlichen Betrachtungen des maximalen Einflusses durchgeführt. Im Rahmen der zu erwartenden Entwicklungen der wirtsgesteinsspezifischen Endlagersysteme werden Sensitivitätsanalysen durchgeführt und erste Einschätzungen von Ungewissheiten getroffen. Anschließend werden die wirtsgesteinsspezifischen FEP-Kataloge auf Basis der Geosynthese und der geowissenschaftlichen Langzeitprognose mit den lokalen

²¹ Der Begriff Screening bezeichnet die systematische Prüfung und Filterung eines FEP-Katalogs hinsichtlich Relevanz in einem Endlagersystem.

**Methodenbeschreibung zur Durchführung
der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen
gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung**



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 457

Ausprägungen im Untersuchungsraum versehen und in Bezug auf Abhängigkeiten und Relevanzen der FEP bewertet. Diese Anpassung der Abhängigkeiten und Relevanz dient als Ausgangspunkt für eine Differenzbetrachtung zu den zuvor abgeleiteten wirtsgesteinsspezifischen Entwicklungen. Da die wirtsgesteinsspezifischen Ableitungen der Entwicklungen unter Einbeziehung größerer möglicher Wertespannen für verschiedene Ausprägungen durchgeführt werden und so z. B. Prozesse maximal viele Komponenten beeinflussen können, werden die untersuchungsraumspezifischen Entwicklungen eine geringere Anzahl relevanter Abhängigkeiten haben. Die so abgeleiteten untersuchungsraumspezifischen Entwicklungen werden entweder zur quantitativen Bewertung hinsichtlich der radiologischen Konsequenzen als Rechenfälle für die Modellierung formuliert, oder qualitativ bzw. verbalargumentativ im Rahmen der Bewertung des sicheren Einschlusses bewertet.

**Methodenbeschreibung zur Durchführung
der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen
gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung**



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 458

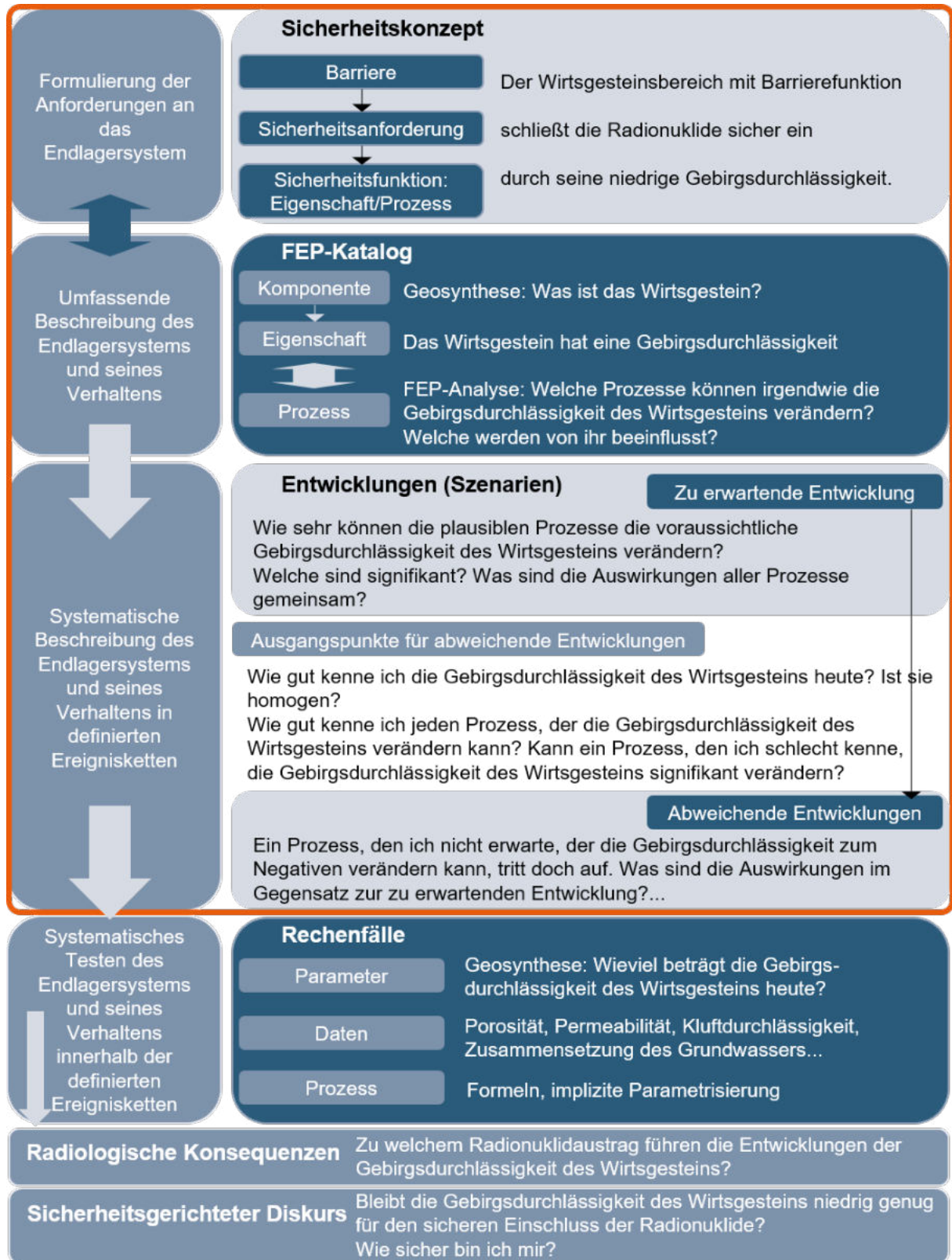



Abbildung 157 Schema der Ableitung der Entwicklungen vom Sicherheitskonzept bis zum abschließenden sicherheitsgerichteten Diskurs mit Leitfragen für jeden Arbeitsschritt. Die Schritte unterhalb des roten Kastens werden ab Kapitel 8.5 beschrieben.

Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung									 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	Blatt: 459
SG	0330				EA	TF	0002	00	

8.2.2 Einleitung – Entwicklungen des Endlagersystems

Die Entwicklungen des Endlagersystems beschreiben verschiedene Szenarien für die Zukunft des Endlagersystems, ohne den Anspruch, die tatsächliche Entwicklung exakt vorherzusagen. Sie werden auf systematische Weise abgeleitet und bilden die Grundlage für die Bewertung der Langzeitsicherheit. Um die Bewertung auf eine strukturierte Art und Weise nachvollziehbar durchzuführen und zu dokumentieren, wird ein sogenannter FEP-Katalog verwendet, in dem zentral die Komponenten des Endlagersystems sowie ablaufende Prozesse beschrieben werden. Der Bezug zur Sicherheit wird dabei über die Sicherheitsfunktionen der Barrieren des Endlagersystems hergestellt (siehe Kapitel 4.1.3.3).

Dazu heißt es in BT-Drs. 19/19291, S. 29:

„Durch ein systematisches Vorgehen nach dem internationalen Stand von Wissenschaft und Technik, beispielsweise unter Einbeziehung so genannter FEP-Kataloge (‘Features, Events and Processes’) und der systematischen Betrachtung von Sicherheitsfunktionen soll sichergestellt werden, dass die identifizierten möglichen Entwicklungen die tatsächliche zukünftige Entwicklung des Endlagers abdecken.“

Die besondere Herausforderung des Standortauswahlverfahrens in Deutschland im Vergleich zu internationalen Endlagerprojekten liegt in der Größe der im jetzigen Schritt 2 von Phase I zu betrachtenden Fläche mit 54 % der Bundesrepublik (BGE 2020g) in Verbindung mit der Betrachtung von drei unterschiedlichen Wirtsgesteinen. Vor diesem Hintergrund ist es notwendig, die Methodik zur Ableitung der Entwicklungen aufbauend auf nationalen und internationalen Projekten anzupassen. Dabei hat der Gesetzgeber bereits unterschiedliche Vereinfachungen der Methodik formuliert, die für die rvSU zulässig sind. Diese werden im folgenden Kapitel aufgegriffen.

Die Ableitung der Entwicklungen des Endlagersystems ist der erste Schritt in der Analyse des Endlagersystems in den rvSU (§ 7 Abs. 6 Nr. 1 EndlSiUntV). Die Ableitung der Entwicklungen baut dabei auf den Grundlagen auf, die mit der Ausweisung der Untersuchungsräume und der Geosynthese sowie der vorläufigen Endlagerauslegung gelegt werden (Kapitel 5; Abbildung 158 und Kapitel 4.2).

Die Kernfrage in der Analyse eines Endlagersystems besteht darin, ob die Sicherheitsfunktionen der Barrieren im Endlagersystem allen möglicherweise schädigenden Prozessen standhalten können, um einen sicheren Einschluss der Radionuklide im Endlager im gesamten Betrachtungszeitraum von einer Million Jahren zu gewährleisten.

Im übergeordneten Kontext der Standortauswahl stellt sich außerdem die Frage, welches Endlagersystem (an welchem Standort) unter Berücksichtigung seiner Entwicklungen die größten Sicherheitsreserven für den sicheren Einschluss der Radionuklide bereithält, also nicht nur sicher, sondern auch robust ist (siehe Kapitel 9).

Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 460

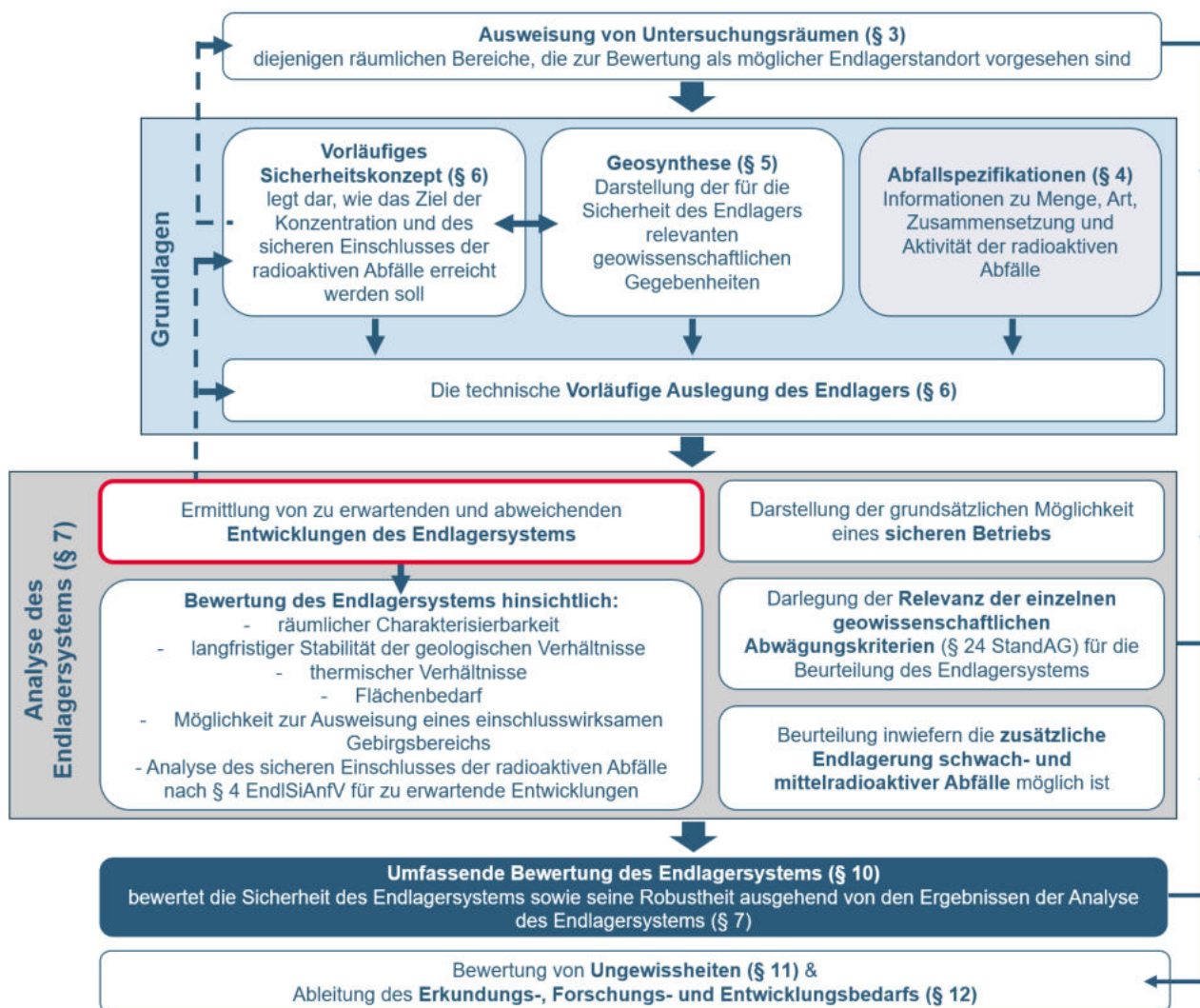


Abbildung 158: Einordnung der Ableitung der Entwicklungen in den Kontext der rvSUI in den vSU sind dabei die zu erwartenden und die abweichenden Entwicklungen des Endlagersystems von zentraler Bedeutung um diese Fragen zu beantworten. Die EndlSiAnfV beschreibt in § 3 Abs. 2 bis 4 diese Entwicklungen folgendermaßen:

§ 3 Abs. 2 bis 4 EndlSiAnfV **Entwicklungen des Endlagersystems**

(2) Die für die Auslegung des Endlagers und die Bewertung der Langzeitsicherheit relevanten Entwicklungen des Endlagersystems und der geologischen Situation am Endlagerstandort innerhalb des Bewertungszeitraumes sind systematisch zu ermitteln, zu beschreiben und einzuordnen als

1. zu erwartende Entwicklungen oder
2. abweichende Entwicklungen.

Die Einordnung ist zu begründen.

(3) Als zu erwartende Entwicklungen einzuordnen sind diejenigen Entwicklungen, die sicher oder in der Regel eintreten werden, insbesondere hinsichtlich der geologischen und klimatischen

**Methodenbeschreibung zur Durchführung
der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen
gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung**



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 461

Situation, der geologischen, technischen und geotechnischen Barrieren sowie der einzulagernden Abfälle.

(4) Als abweichende Entwicklungen einzuordnen sind diejenigen Entwicklungen, die nicht zu erwarten sind, aber hinsichtlich der geologischen und klimatischen Situation, der technischen und geotechnischen Barrieren sowie der einzulagernden Abfälle eintreten können.“

Die Verordnung nennt außerdem hypothetische Entwicklungen hinsichtlich der oben genannten Punkte und Entwicklungen auf Grundlage zukünftiger menschlicher Aktivitäten (§ 3 Abs. 5 bis 6 EndlSiAnfV). Diese beiden Arten von Entwicklungen sind erst ab Phase II des Standortauswahlverfahrens zu betrachten.

In Ergänzung zum vorherigen Zitat wird für die rvSU die Ableitung der Entwicklungen in § 7 Abs. 6 Nr. 1 EndlSiAnfV präzisiert.


§ 7 Abs. 6 Nr. 1 EndlSiAnfV

„auf Basis der geowissenschaftlichen Langzeitprognose sind geogene Einwirkungen und Prozesse zu identifizieren und zu bewerten sowie daraus zu erwartende und abweichende Entwicklungen abzuleiten;“

Für die erste Ableitung der Entwicklungen innerhalb der rvSU wird hierbei der Fokus auf die geogenen Prozesse gelegt, dabei findet sowohl die Identifizierung als auch die Bewertung mittels der FEP-Methodik statt. Die Definition bzw. Identifizierung wird in der übergeordneten Zusammenstellung aller potenziell relevanten Komponenten und Prozesse (Kapitel 8.2.3.1) durchgeführt, während eine Bewertung, ob ein Prozess tatsächlich auftritt, innerhalb des FEP-Screenings (Kapitel 8.2.3.6) erfolgt.

Mit den Entwicklungen sollen die Ungewissheiten bezüglich der tatsächlichen Zukunft des Endlagersystems abgedeckt werden. Die Ungewissheiten bezüglich des Zustands des Endlagersystems nehmen zu, je weiter der betrachtete Zeitpunkt in der Zukunft liegt. Gegenüber den zu erwartenden und abweichenden Entwicklungen muss ein Endlager sicher und robust sein, alle Einflüsse, gegen die es darüber hinaus unempfindlich ist, zeigen seine darüber hinausgehende Robustheit. Zu solchen hypothetischen Entwicklungen gehört beispielsweise ein Szenario, in dem alle Barrieren komplett versagen, und die Überlegung, was in der Folge geschehen würde, und welche Umstände dahin führen könnten. Die verschiedenen Gruppen von Entwicklungen, die qualitative Wahrscheinlichkeitsstufen abbilden, sollen dabei einen Raum aufspannen, der mit großer Sicherheit alle möglichen Entwicklungen des Endlagersystems von seinem Ausgangszustand aus umhüllt (Abbildung 159). Damit sind die zu erwartenden und abweichenden Entwicklungen die Basis für die Bewertung des sicheren Einschlusses eines Endlagersystems in den rvSU.

Mit der Kategorisierung nach „zu erwarten“ und „abweichend“ wird gegenüber den früheren Sicherheitsanforderungen von mathematisch-abstrakten Prinzipien Abstand genommen (BT-Drs. 19/19291). Stattdessen soll die Gewichtung der Entwicklungen bei der Optimierung des

Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung									 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	Blatt: 462
SG	0330				EA	TF	0002	00	

Endlagersystems in den Vordergrund gerückt werden (siehe Abbildung 160). Da eine Angabe von statistischen Wahrscheinlichkeiten für z. B. das Auftreten von Prozessen selten tatsächlich möglich ist, wird so explizit ein Rahmen für begründete Experteneinschätzungen geschaffen. Die verwendete Nomenklatur ist in Tabelle 68 zu finden.

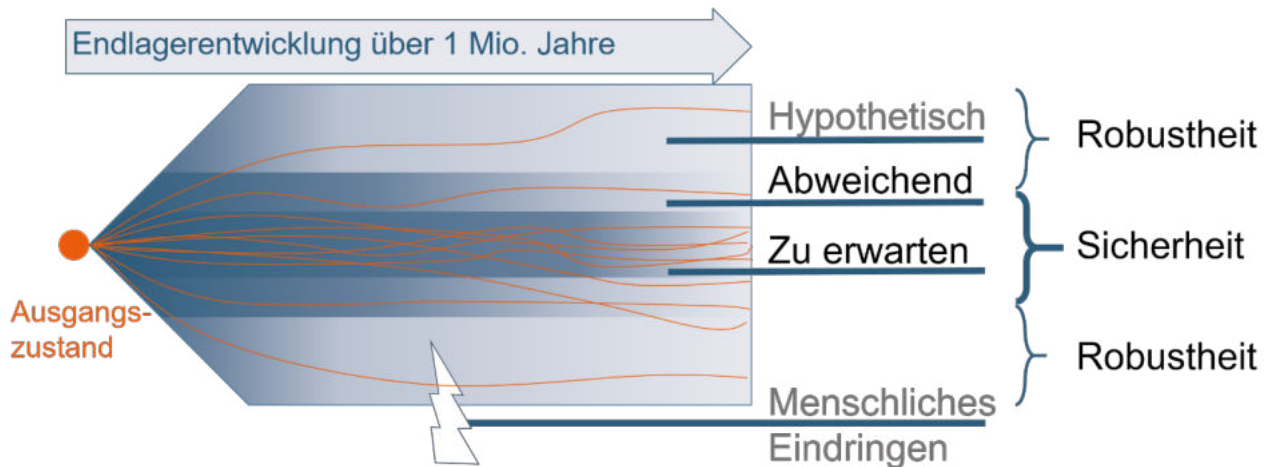


Abbildung 159: *Entwicklungen im Endlagersystem.*
Die Entwicklungen (orange Linien) beschreiben, wie sich das Endlagersystem von seinem Initialzustand über die nächsten eine Million Jahre entwickeln kann. In den rvSU werden die zu erwartenden und die abweichenden Entwicklungen des Endlagersystems betrachtet. Vereinfacht ist hier ein einziger Ausgangszustand gezeigt.

Im Nachgang der Analyse des Endlagersystems muss geprüft werden, ob Optimierungspotenziale vorliegen (§ 12 EndlSiAnfV). Dabei spielen die Entwicklungen eine wesentliche Rolle, da sich aus ihnen die Anforderungen an die Barrieren und ihre Sicherheitsfunktionen ergeben, die durch Standortauswahl, Sicherheitskonzept und Endlagerauslegung erfüllt werden müssen (Kapitel 4.2.9, Abbildung 160). In den rvSU werden Entwicklungen und vorläufiges Sicherheitskonzept noch parallel und unabhängig voneinander auf Basis bestehender Literatur und wirtsgesteinsspezifischer Konzepte erarbeitet. In späteren Phasen wird das vorläufige Sicherheitskonzept auf Basis der Entwicklungen standortbezogen weiterentwickelt.

Die Optimierung basiert vorrangig auf den zu erwartenden Entwicklungen, ergänzend auf den abweichenden. Die hypothetischen Entwicklungen, die in Phase II erstmals abgeleitet werden, werden nur nachrangig in die Optimierung einbezogen. In den weiterentwickelten vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (wvSU) wird dabei auf die Arbeiten der rvSU aufgesetzt. In den umfassenden vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (uvSU) in der Phase III des Standortauswahlverfahrens, findet eine weitere Anwendung der systematischen Ableitung von Entwicklungen für die potenziellen Endlagerstandorte statt.

**Methodenbeschreibung zur Durchführung
der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen
gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung**



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 463

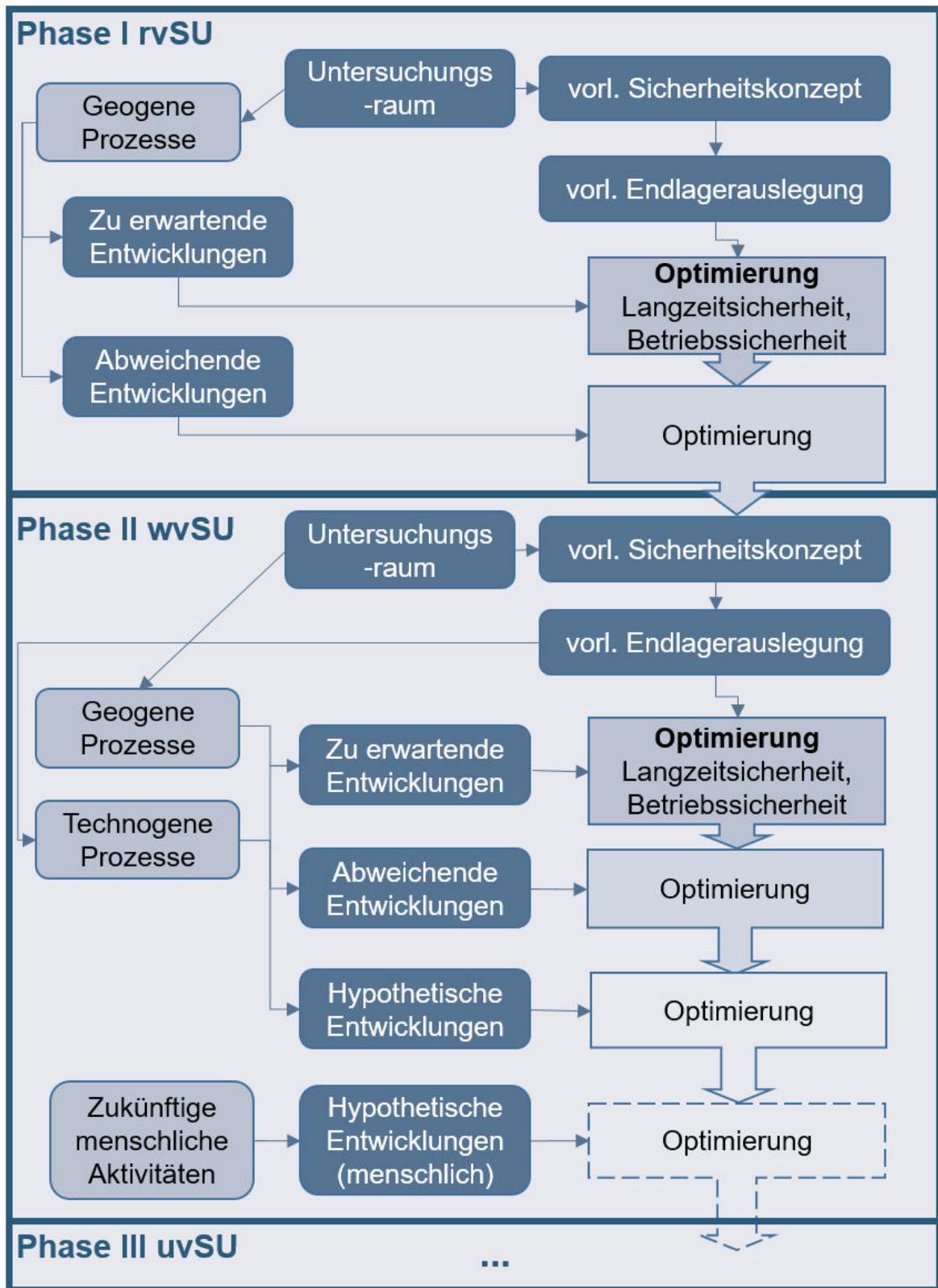


Abbildung 160: Die systematisch abgeleiteten Entwicklungen des Endlagersystems sind zentral für die schrittweise Optimierung von Sicherheitskonzept und Endlagerauslegung. Gezeigt ist der Rahmen für die Optimierung, der sich aus den Vorgaben der EndSiAnfV und EndSiUntV ergibt.

**Methodenbeschreibung zur Durchführung
der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen
gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung**



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 464

Bereits in Schritt 1 Phase I wurden in beschränkter Form die Entwicklungen des Endlagersystems in das Standortauswahlverfahren einbezogen. Dies erfolgte über die Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien. In mehreren Passagen, teilweise in der Begründung zum StandAG (BT-Drs. 18/11398), ist dort die Rede von „erwarteten Prozessen“, z. B. im Ausschlusskriterium 5 „vulkanische Gefährdung“ heißt es „es ist vulkanische Aktivität zu erwarten“ (§ 22 Abs. 2 StandAG). Die Ausschlusskriterien „Aktive Störungszonen“, „Seismische Aktivität“ und „Vulkanische Aktivität“ basieren auf geogenen Prozessen, die in der geowissenschaftlichen Langzeitprognose behandelt werden.

Wie bereits in Kapitel 5.4.4 beschrieben ist die Ableitung der Entwicklungen des Endlagersystems eine Voraussetzung für die Prüfung der Mindestanforderungen an den Erhalt der Barrierewirkung (§ 23 Abs. 5 Nr. 5 StandAG). Dort werden Eigenschaften von Komponenten (Mächtigkeit, Ausdehnung und Gebirgsdurchlässigkeit des Wirtsgesteins) genannt, die im Bewertungszeitraum nicht übermäßig verändert werden dürfen, was dem Erhalt von Sicherheitsfunktionen in den rvSU entspricht.

§ 23 Abs. 5 Nr. 5 StandAG

„5. Erhalt der Barrierewirkung

es dürfen keine Erkenntnisse oder Daten vorliegen, welche die Integrität des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs, insbesondere die Einhaltung der geowissenschaftlichen Mindestanforderungen zur Gebirgsdurchlässigkeit, Mächtigkeit und Ausdehnung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs über einen Zeitraum von einer Million Jahren zweifelhaft erscheinen lassen.“

Die Bewertung erfolgt im Rahmen der quantitativen Bewertung des sicheren Einschlusses (Kapitel 8.5).

Auch in den geowissenschaftlichen Abwägungskriterien wird auf die Entwicklungen des Endlagersystems Bezug genommen, beispielsweise in der Begründung zu Anlage 5 zu § 24 StandAG (Günstige gebirgsmechanische Eigenschaften): *„Bewertungsgrundlage sind die zu erwartenden Auswirkungen der Errichtung von Hohlräumen auf die Struktur und Stabilität des Wirtsgesteines.“*

Die zitierte Passage soll beispielhaft illustrieren, dass Entwicklungen des Endlagersystems auch dort in die Bewertung eingehen. Die methodische Verbindung der rvSU mit der Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien wird noch erarbeitet.

In Ergänzung zum Glossar werden die wesentlichen Begriffe der FEP-Methodik und Ableitung der Entwicklungen in Tabelle 68 erläutert.



Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung									 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	Blatt: 465
SG	0330				EA	TF	0002	00	

Tabelle 68: Begriffserklärungen für die FEP-Methodik und Ableitung von Entwicklungen

Begriffe	Erläuterung
Komponente	Physisch greifbarer, allgemein beschriebener Teil des Endlagersystems (z. B. Abfallbehälter)
Eigenschaft	Beschreibt eine Eigenschaft einer Komponente, z. B. die „Stoffliche Zusammensetzung“ des Abfallbehälters. Eine Komponente kann mehrere Eigenschaften haben.
Prozess	Potenziell ablaufender Prozess im Endlagersystem.
Ereignis	Ein Prozess, der in einem sehr kurzen Zeitraum auftritt. Wird in der Methodik dieses Dokumentes in Prozess aufgelöst, siehe Kapitel 8.2.3.4.
Plausibles/nicht auszuschließendes / auszuschließendes Auftreten	Qualitative Angabe, wie wahrscheinlich es ist, dass ein bestimmter Prozess auftritt, die in drei qualitative Wahrscheinlichkeitsstufen eingeordnet wird: Plausibel / nicht auszuschließen / auszuschließen.
Voraussichtliche/mögliche Ausprägung	Quantitative (Zahlenwert, Formel) oder qualitative („stark“, „hoch“) Aussage zu einem Prozess oder den Eigenschaften einer Komponente, die in zwei qualitative Wahrscheinlichkeitsstufen eingeordnet wird: Voraussichtlich / möglich.
Screening	Systematische Prüfung und Filterung eines FEP-Katalogs hinsichtlich Relevanz in einem Endlagersystem.
Ausgangszustand	Beschreibt alle Komponenten inklusive der spezifischen Werte von Eigenschaften zum Zeitpunkt des Verschlusses des Endlagerbergwerks ($t = 0$). Dieser dient somit als Startpunkt für die Bewertung des sicheren Einschlusses. Der Ausgangszustand kann aufgrund von Ungewissheiten neben der voraussichtlichen auch mögliche Ausprägungen haben.
Szenario	Szenario wird synonym zum Begriff Entwicklungen verwendet. <i>„The term “scenario” represents (and is understood as) a description of a potential specific evolution of the repository system from a given initial state.“</i> (Röhlig et al. 2012, S. 33). Deutsch: Der Begriff Szenario beschreibt (und wird als solche verstanden) eine potenzielle spezifische Entwicklung des Endlagersystems, ausgehend von einem Ausgangszustand.
Szenarienentwicklung	Wird synonym zum Begriff „Ableitung von Entwicklungen“ verwendet, siehe Kapitel 8.2.4.

Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung									 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	Blatt: 466
SG	0330				EA	TF	0002	00	

8.2.3 FEP-Katalog

Der FEP-Katalog ist das zentrale Werkzeug für die Ableitung der Entwicklungen eines Endlagersystems. In diesem Katalog sind alle wesentlichen Komponenten und Prozesse zusammengetragen, die das Endlagersystem beschreiben und beeinflussen. Aus deren gegenseitigen Wechselwirkungen werden die Entwicklungen des Systems abgeleitet. Der Umfang des FEP-Katalogs bestimmt so den Detaillierungsgrad der Entwicklungen. Der FEP-Katalog stellt das verbindende Element zwischen den Grundlagen und der Analyse des Endlagersystems dar, indem er die Inhalte der Geosynthese und der vorläufigen Endlagerauslegung strukturiert und einer systematischen Analyse zugänglich macht (siehe Abbildung 158) (z. B. OECD-NEA 2016).

Die Abkürzung „FEP“ steht für „Features, Events and Processes“ und wird mit „Komponenten, Ereignisse und Prozesse“ übersetzt, siehe Tabelle 68. Im vorliegenden Dokument wird dennoch der Ausdruck „FEP“ genutzt, da dieser als ein eigenständiger etablierter Fachbegriff angesehen wird (z. B. im Begriff „FEP-Katalog“). Komponenten, Ereignisse und Prozesse werden folgendermaßen definiert:

- Die *Komponenten* sind physisch greifbare Teile des Endlagersystems, wie z. B. das Wirtsgestein. Sie sind durch Eigenschaften charakterisiert.
- *Ereignisse* sind Vorgänge und Veränderungen, die kurzzeitig im Vergleich zum Bewertungszeitraum sind, z. B. Erdbeben.
- *Prozesse* sind lang andauernde Vorgänge und Veränderungen, die im Bewertungszeitraum ablaufen, z. B. der Zerfall langlebiger Radionuklide.

Der FEP-Katalog für die Standortauswahl wird ausgehend von der OECD-NEA IFEP-Liste entwickelt (Organisation for Economic Cooperation and Development – Nuclear Energy Agency International Features, Events and Processes List, Capouet et al. (2019)). Darüber hinaus werden die FEP-Kataloge früherer deutscher Projekte in der Endlagerforschung wie der VSG – Vorläufigen Sicherheitsanalyse Gorleben (Wolf 2012; Wolf et al. 2012), ANSICHT (Stark et al. 2014; Stark et al. 2016) und dem Endlagerprojekt Morsleben einbezogen. Weiterhin finden die FEP-Kataloge der internationalen Projekte zu Sicherheitsuntersuchungen in Schweden (SKB 2011a, 2011b, 2011c), in der Schweiz (Nagra 2002b, 2002a), Belgien (OECD-NEA 2018, ONDRAF/NIRAS) und Frankreich (Andra 2005d, 2005a) Berücksichtigung.

Die internationalen Projekte sind generell deutlich weiter fortgeschritten, weshalb diese Publikationen eine äußerst wichtige Quelle darstellen, auch wenn sie zumeist ein größeres Alter als deutsche Projekte haben. Sie bilden den Stand von Wissenschaft und Technik in dem Sinne ab, dass sie als Abschlussberichte von erfolgreich abgeschlossenen Verfahrensphasen oder sogar Teil von Genehmigungsanträgen nicht das Mögliche, sondern das praktisch Machbare illustrieren. Deutsche Projekte zur Endlagerung des letzten Jahrzehnts zeigen wichtige Entwicklungen in verschiedenen Forschungsfeldern auf, seit der VSG (Fischer-Appelt et al. 2013) wurde jedoch in Deutschland keine standortbezogene Sicherheitsuntersuchung vollständig durchgeführt.

**Methodenbeschreibung zur Durchführung
der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen
gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung**



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 467

8.2.3.1 Auswahl relevanter FEP in den rvSU

Bezüglich der Auswahl der Komponenten und Prozesse, die in den rvSU zu betrachten sind, beschreibt § 7 Abs. 2 EndlSiUntV die wesentlichen Vereinfachungen, die für Phase I Schritt 2 des Standortauswahlverfahrens bei der Durchführung der rvSU getroffen werden dürfen. Dabei bezieht sich § 7 Abs. 6 Nr. 1 EndlSiUntV direkt auf die für die Ableitung der Entwicklungen wichtigen Prozesse.

§ 7 Abs. 6 Nr. 1 EndlSiUntV

„1. auf Basis der geowissenschaftlichen Langzeitprognose sind geogene Einwirkungen und Prozesse zu identifizieren und zu bewerten sowie daraus zu erwartende und abweichende Entwicklungen abzuleiten;“

Aufbauend auf Fischer-Appelt et al. (2013); Mrugalla (2011), Mrugalla (2014) und Stark (2014) wird die geowissenschaftliche Langzeitprognose als die Entwicklung eines Standorts ohne den Einfluss eines Endlagers verstanden. Sie umfasst also ausschließlich die geogenen Prozesse.


Nach § 7 Abs. 6 Nr. 2 EndlSiUntV dürfen außerdem vereinfachende Annahmen zu den technischen und geotechnischen Barrieren getroffen werden.

§ 7 Abs. 6 Nr. 2 EndlSiUntV

„2. es ist davon auszugehen, dass technische und geotechnische Barrieren ihre Funktion grundsätzlich in dem jeweils vorgesehenen Zeitraum erfüllen, sofern dies nach dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik nicht ausgeschlossen erscheint;“

Aus diesen Punkten wird gefolgert, dass die Ableitung der Entwicklungen, und damit die Auswahl der Prozesse und Komponenten in den rvSU, auf die geologische Barriere und die geogenen Prozesse, die ein Endlagersystem beeinflussen können, konzentriert ist.

Durch die in § 7 Abs. 6 EndlSiUntV getroffenen Vereinfachungen für die rvSU wird von der Durchführung einer Langzeitsicherheitsanalyse nach § 9 EndlSiUntV abgesehen. Dadurch entfällt ebenfalls die Prüfung der Integrität und Robustheit nach §§ 5 und 6 EndlSiAnfV, in der unter anderem der Erhalt der sicherheitsrelevanten Eigenschaften für die Entwicklungen des Endlagersystems (Integrität) gefordert wird. Stattdessen wird eine Bewertung der Möglichkeit des sicheren Einschusses der Radionuklide nach § 4 EndlSiAnfV vorgegeben, welche sich in den rvSU im Kern auf den einschlusswirksamen Gebirgsbereich bzw. den Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion, der einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich aufnehmen kann, beziehen, da nach § 7 Abs. 6 Nr. 2 EndlSiUntV angenommen werden darf, dass technische und geotechnische Barrieren ihre angedachte Funktion erfüllen. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass der Fokus der in den rvSU abgeleiteten Entwicklungen auf den Beeinflussungen der geologischen Barrieren durch geogene Prozesse liegt.

Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung									 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	Blatt: 468
SG	0330				EA	TF	0002	00	


Die Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe kommt in ihrem Abschlussbericht (BT-Drs. 18/9100, S. 291) zu dem Schluss, dass eine umfassende Ableitung von Szenarien in der frühen Phase des Standortauswahlverfahrens (vor der Standorterkundung) nicht angemessen erscheint. Stattdessen wird auf Vergleiche mit vorherigen Sicherheitsanalysen verwiesen. Dieser Vorschlag findet sich nicht in der EndlSiUntV, da nach § 7 Abs. 6 EndlSiUntV die Ableitung von zu erwartenden und abweichenden Entwicklungen bereits in den rvSU gefordert wird. Dennoch wurden entsprechende Vereinfachungen für die Durchführung der rvSU, insbesondere der Ableitung von Entwicklungen, in die EndlSiUntV aufgenommen, welche im vorangegangenen Text ausgeführt wurden. Daraus folgt die Interpretation, dass in den rvSU zwar keine vollumfängliche Ableitung der Entwicklungen stattfinden soll, aber eine Methodik erarbeitet und erste, thematisch begrenzte Entwicklungen von Endlagersystemen auf Basis der geogenen Prozesse abgeleitet werden sollen.

Die Entwicklungen der wirtsgesteinsspezifischen vorläufigen Endlagerauslegungen werden daher nur als Teil der Entwicklungen der wirtsgesteinsspezifischen Endlagersysteme untersucht, nicht aber untersuchungsraumspezifisch. Beeinflussungen von technischen/geotechnischen Komponenten werden in den untersuchungsraumspezifischen Betrachtungen nur schematisch (d. h. durch ihre räumliche Lage) erfasst, da diese Komponenten in den rvSU nur auf grundlegenden Angaben beruhen und nur in Grundzügen spezifiziert sind, sodass die Bestimmung von Wechselwirkungen und Abhängigkeiten unangemessen erscheint, siehe Begründung zu § 6 Abs. 4 EndlSiUntV (BT-Drs. 19/19291) im Folgenden:

„...sind in dieser Phase [rvSU] nur die grundlegenden Angaben zur Auslegung der Endlagersysteme erforderlich. Diese dienen als konzeptionelle Grundlage für die Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen, bedeuten aber keine irreversible Vorfestlegung für das weitere Verfahren.“

Potenzielle Beeinträchtigungen der geologischen Barriere durch die technischen und geotechnischen Komponenten werden durch den Fokus auf geogene Prozesse methodisch vernachlässigt. Gemeint sind z. B. Gasbildung im Zuge der Behälterkorrosion, die zur Rissbildung in der geologischen Barriere führen kann, oder die Entwässerung des Wirtsgesteins bei Erwärmung durch die Zerfallsprozesse im eingebrachten Abfall. Über das Sicherheitskonzept wird die Anforderung an die Auslegung der technischen und geotechnischen Komponenten gestellt, dass sie die Sicherheitsfunktionen des Wirtsgesteinsbereichs mit Barrierefunktion nicht beeinträchtigen. Ebenso wird angenommen, dass das Wirtsgestein keine Schädigung durch den Betrieb des Endlagers erfährt. Bei den Weiterentwicklungen des Sicherheitskonzepts im Verlauf des Verfahrens, die gemäß § 6 Abs. 1 EndlSiUntV erfolgen sollen, muss in späteren Phasen in Betracht gezogen werden, wie sich gegebenenfalls unvermeidbare Schädigungen des Wirtsgesteins durch Auffahrung und Betrieb auswirken und begrenzen lassen, die in dieser Phase noch vernachlässigt werden.

FEP-Kataloge werden mit einem Anspruch auf Vollständigkeit aufgestellt (Röhlig et al. 2012, S. 97). Eine umfassende Abbildung im FEP-Katalog wird in den rvSU nur im geowissenschaftlichen Themenbereich angestrebt: geogene Prozesse und geologische Barriere(n). Die Auswahl der Kompo-

Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung									 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	Blatt: 469
SG	0330				EA	TF	0002	00	

menten und Prozesse in einem FEP-Katalog beeinflusst direkt, welche Entwicklungen für ein Endlagersystem beschrieben werden können, da systematisch nur solche FEP berücksichtigt werden, die auch im Katalog aufgenommen wurden.

8.2.3.2 Entwicklung des FEP-Katalogs für das Standortauswahlverfahren

Die Komplexität des Standortauswahlverfahrens, gemeinsam mit den Vorgaben aus EndlSiAnfV und EndlSiUntV, erfordert methodische Neuerungen bei der Zusammenstellung des FEP-Katalogs und der Ableitung der Entwicklungen. Es müssen drei Wirtsgesteine, unterschiedliche Lagerungen sowie zwei grundlegend verschiedene Sicherheitskonzepte berücksichtigt werden. Die sich daraus ergebenden fünf wirtsgesteinsspezifischen Endlagersysteme sind:

- Tongestein in stratiformer Lagerung mit einschlusswirksamem Gebirgsbereich
- Steinsalz in steiler Lagerung mit einschlusswirksamem Gebirgsbereich
- Steinsalz in stratiformer Lagerung mit einschlusswirksamem Gebirgsbereich
- Kristallines Wirtsgestein mit einschlusswirksamem Gebirgsbereich
- Kristallines Wirtsgestein, bei dem der sichere Einschluss durch technische und geotechnische Barrieren gewährleistet wird

Mit den ausgewiesenen Teilgebieten (BGE 2020g) werden 54 % der Landesfläche Deutschlands abgedeckt. Zur Betrachtung von 90 Teilgebieten muss ein Minimum von 90 Untersuchungsräumen ausgewiesen werden. Für jeden Untersuchungsraum ist eine Analyse des Endlagersystems durchzuführen (§ 7 EndlSiUntV) und entsprechend sind jeweils die Entwicklungen abzuleiten.

Zur Bewältigung dieser Aufgabe ist ein einzelner FEP-Katalog als Ausgangspunkt aller Entwicklungen nicht ausreichend. Es soll daher ein gestaffeltes System von FEP-Katalogen aufgebaut werden, angefangen bei einer übergeordneten Zusammenstellung aller potenziell relevanten FEP (Abbildung 161 oben). Auf dieser Ebene werden ebenfalls alle geogenen Prozesse, die im Bereich der Teilgebiete in Deutschland auftreten, zusammengestellt. Dies ergibt eine geowissenschaftliche Langzeitprognose, die alle Untersuchungsräume abdeckt, beispielhaft dargestellt in Abbildung 162.

Für alle Untersuchungsräume eines Wirtsgesteins werden auf Basis der in der geowissenschaftlichen Langzeitprognose zusammengetragenen Daten die auftretenden geogenen Prozesse innerhalb eines ersten Screenings identifiziert. So werden fünf wirtsgesteinsspezifische FEP-Kataloge für die oben genannten wirtsgesteinsspezifischen Endlagersysteme abgeleitet, die auch die wirtsgesteinsspezifische Endlagersysteme mit einbeziehen (Abbildung 161 Mitte).

Aus der durch die wirtsgesteinsspezifischen FEP-Kataloge getroffenen Vorauswahl werden die geogenen Prozesse und Komponenten für die Untersuchungsräume in den Wirtsgesteinen spezifiziert, die Endlagersysteme findet an dieser Stelle keinen Eingang. Unter erneuter Einbeziehung der geowissenschaftlichen Langzeitprognose sowie der Geosynthese ergeben sich so innerhalb eines zweiten Screenings untersuchungsraumspezifische FEP-Kataloge (Abbildung 161 unten).

**Methodenbeschreibung zur Durchführung
der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen
gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung**

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 470

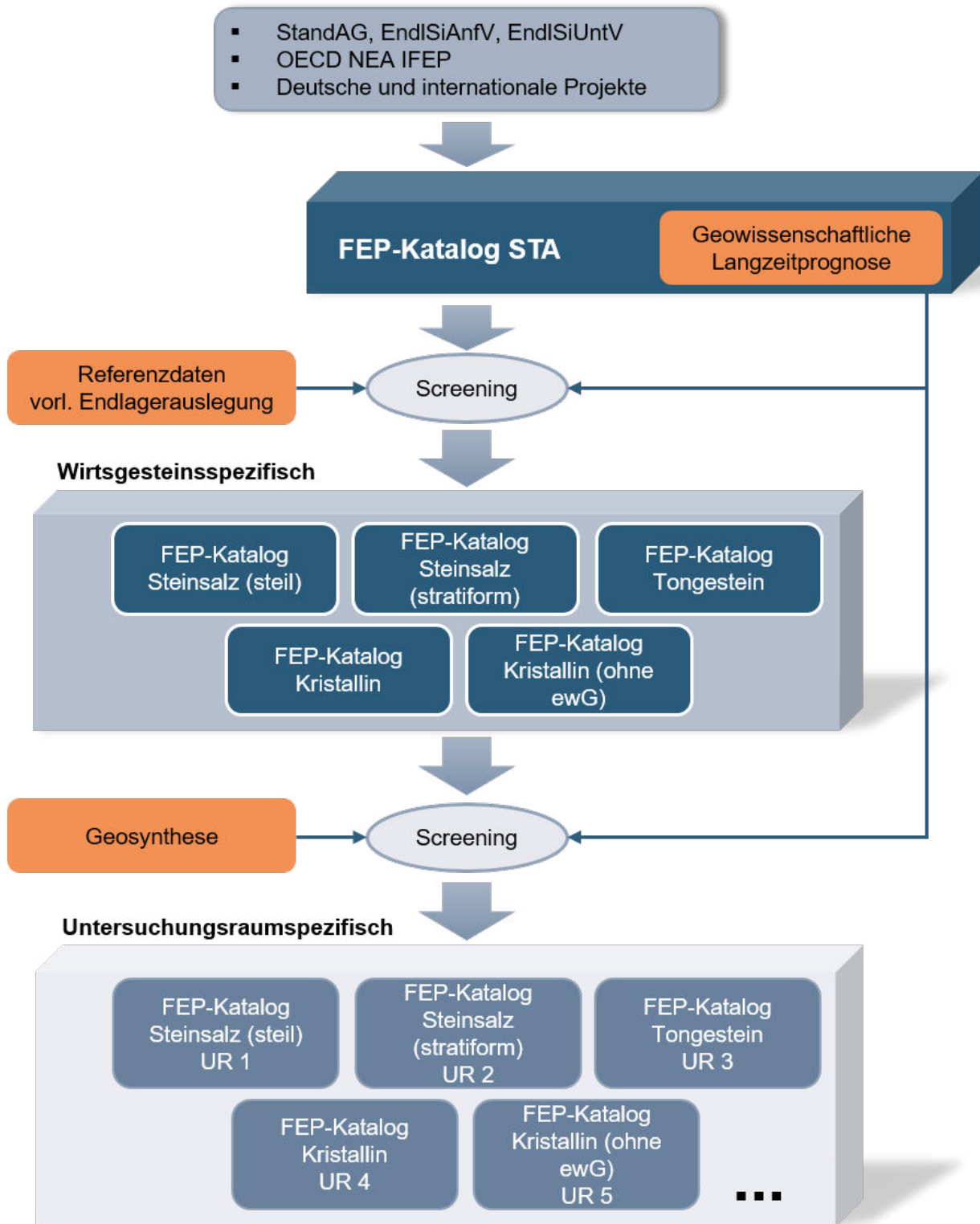


Abbildung 161: Schema zur Darstellung der unterschiedlichen FEP-Kataloge. STA steht für den BGE-Bereich Standortauswahl.

Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 471

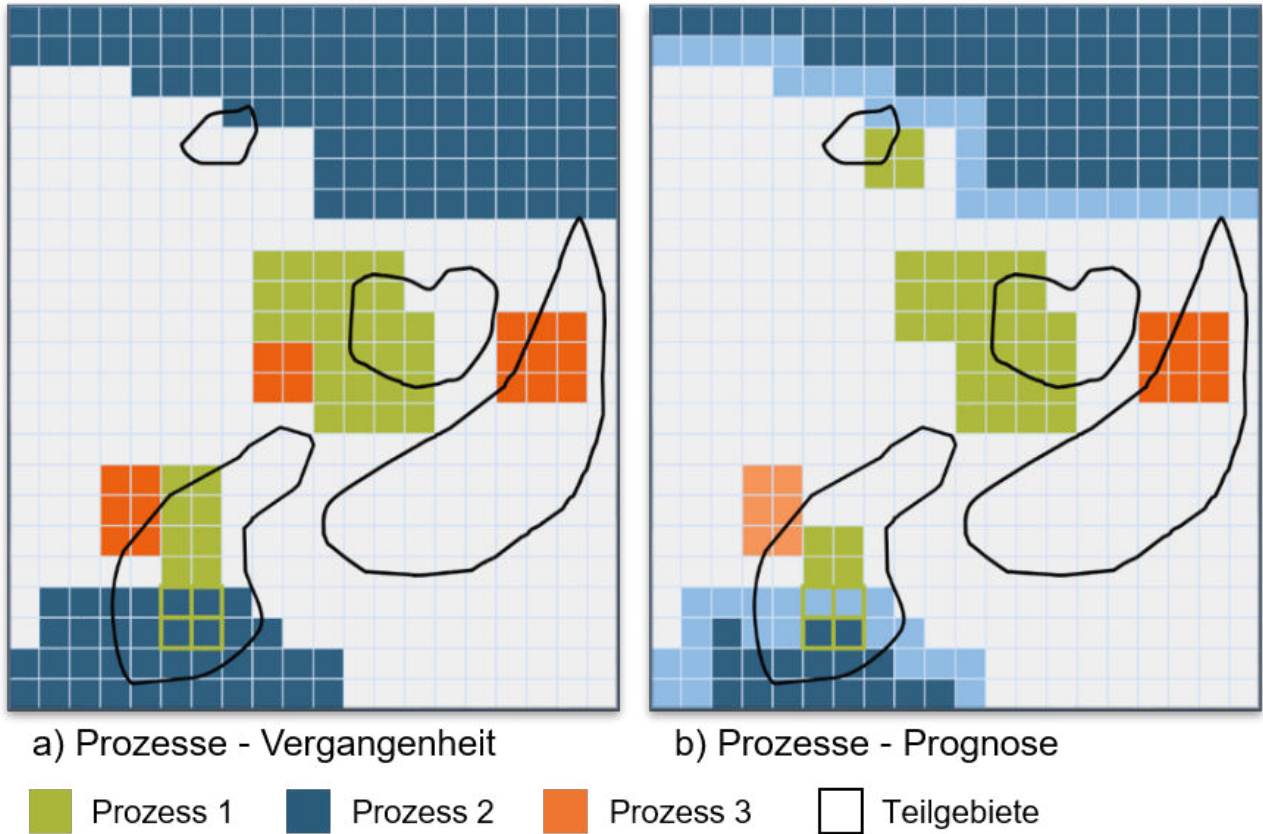


Abbildung 162: Die geowissenschaftliche Langzeitprognose fasst alle geogenen Prozesse zusammen, die im Bereich der ausgewiesenen Teilgebiete auftreten (Screening). Dazu gehört eine Beschreibung des Auftretens in der Vergangenheit (a), anhand dessen eine Prognose für die Zukunft aufgestellt wird (b). Ein Prozess kann dabei in der Vergangenheit aufgetreten sein und in der Zukunft weiterhin für die gleiche Region prognostiziert werden (Prozess 1 Mitte und unten, Prozess 2, Prozess 3 links und rechts). Prozesse können in der Zukunft auftreten, ohne in der Vergangenheit aufgetreten zu sein, wenn entsprechende Rahmenbedingungen vorliegen (Prozess 1 oben). Ein Prozess kann in der Vergangenheit aufgetreten sein, ist aber abgeschlossen und nicht Teil der Prognose (Prozess 3 Mitte). Es können mehrere Prozesse im gleichen Gebiet auftreten (Prozess 1 und 2 unten). Die Prognose kann mit Ungewissheiten behaftet sein (Prozess 2: hellblauer Rand in b, Prozess 3: blasse Farbe links in b). Das Raster dient nur der Visualisierung.

Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 472

8.2.3.3 Komponenten und Eigenschaften

Im Weiteren werden „Features“ als *Komponenten* bezeichnet (Capouet et al. 2019). Ein Zustand beschreibt eine Komponente, deren Eigenschaften konkrete Werte zugeordnet sind. Der Methodik von Stark et al. (2016) folgend können Eigenschaften von Komponenten nur von Prozessen verändert werden.

Im FEP-Katalog für die rvSU besitzt jede Komponente Eigenschaften, die aus einer zuvor festgelegten Zusammenstellung ausgewählt werden. Eigenschaften bilden das Bindeglied zwischen Komponenten und Prozessen. Dabei werden die Eigenschaften der Komponenten von den Prozessen beeinflusst, wodurch eine Abhängigkeit entsteht. Diese Abhängigkeiten sind zentral für die Ableitung von Entwicklungen (siehe auch Kapitel 8.2.4).

Beispiel 78: Komponenten des FEP-Katalogs

Beispiel – Komponenten

Im FEP-Katalog des ANSICHT SÜD Projekts (Stark et al. 2016) finden sich beispielsweise folgende Komponenten, bzw. dort genannt „Komponenten des Endlagersystems“ (Auszug):

Tabelle 69: Auszug von Komponenten aus dem ANSICHT SÜD FEP-Katalog

AnSichT SÜD Komponenten
1. Abfallmatrix
2. Brennelement-Behälter
...
18. Wirtsgestein
19. Lösungen im Wirtsgestein
20. Gase im Wirtsgestein
21. Nebengebirge
22. Lösungen im Nebengebirge
23. Gase im Nebengebirge
...

Diese Komponenten müssen für das jeweilige Projekt angepasst werden. So werden in den rvSU die technischen Barrieren im Endlagersystem nur auf wirtsgesteinsspezifischer Ebene betrachtet, nicht jedoch auf untersuchungsraumspezifischer.

Ob ein Prozess eine Eigenschaft einer Komponente beeinflusst, hängt in der Regel von der jeweiligen Ausprägung des Prozesses und der Eigenschaft (Zahlenwert oder qualitative Einordnung) ab. Dies wird im FEP-Screening der entsprechenden Stufe der Methodik festgestellt (siehe Kapitel 8.2.3.6). Sobald einer Eigenschaft einer Komponente ein Zahlenwert zugeordnet wird, hat sie

Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 473

einen Zustand angenommen. Unter Einwirkung von Prozessen kann sich der Zustand einer Komponente im Bewertungszeitraum ändern (Abbildung 163). Die gemeinsame Betrachtung aller Komponenten zu einem bestimmten Zeitpunkt im Bewertungszeitraum ist der Zustand des Endlagersystems.

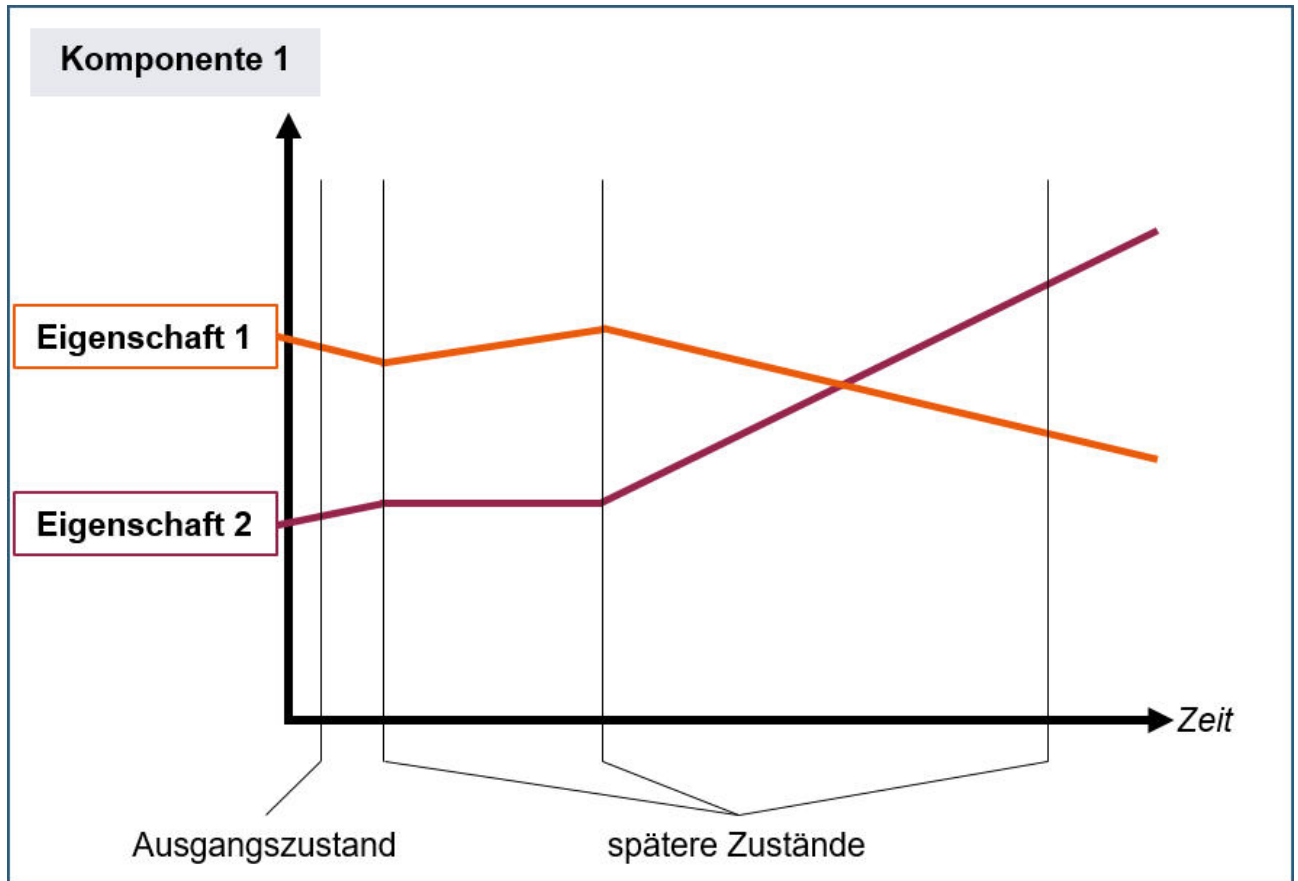



Abbildung 163: Durch Änderungen der Werte ihrer Eigenschaften können Komponenten im Bewertungszeitraum verschiedene Zustände durchlaufen

Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung									 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	Blatt: 474
SG	0330				EA	TF	0002	00	

8.2.3.4 Ereignisse und Prozesse

Unter dem Begriff *Prozesse* werden sowohl Ereignisse als auch Prozesse verstanden, die im Endlagersystem bzw. Endlagerbereich auftreten können. Innerhalb der Methodik des Standortauswahlverfahrens werden in Anlehnung an Stark et al. (2016) Ereignisse und Prozesse in einer Kategorie zusammengefasst, da die Unterscheidung der beiden lediglich auf ihrer Dauer beruht.

Dabei werden in der Ableitung der Entwicklungen nur Prozesse berücksichtigt, die im FEP-Katalog gelistet sind. Prozesse werden für die rvSU in die Kategorien „geogene Prozesse“ und „technogene und sonstige Prozesse“ eingeteilt.

Die Liste der geogenen Prozesse orientiert sich dabei an den Prozessen, die in deutschen Vorgängerprojekten in der geowissenschaftlichen Langzeitprognose betrachtet wurden (Mrugalla 2011, 2014; Stark 2014), außerdem an den Untergruppen „1.2 Geological Factors“ und „1.3 Climatic Factors“ der OECD-NEA FEP-Gruppe „1. External Factors“ (Capouet et al. 2019).

Geogene Prozesse umfassen exogene Prozesse (z. B. Erosion) und endogene Prozesse (z. B. Diagenese). Das Auftreten dieser Prozesse ist unabhängig von der Existenz des Endlagers und beschreibt die Entwicklung eines möglichen Endlagerstandorts ohne Endlager. Demzufolge kann der Einfluss der geogenen Prozesse auf die Sicherheitsfunktionen der Barrieren im Endlagersystem nur durch die Anpassung von Standort und Tiefenlage optimiert werden (Standortänderung bewirkt andere Ausprägung von z. B. glazialer Erosion, Änderung der Tiefenlage bewirkt andere Ausprägung von z. B. Diagenese).

Unter die „sonstigen und technogenen Prozesse“ fallen beispielsweise diejenigen Prozesse, die Mobilisierung und Transport der Radionuklide beschreiben, wie auch allgemein physikalische oder chemische Prozesse (Wärmestrom, Lösung/Fällung), sowie Prozesse, die die Entwicklung technischer Barrieren beeinflussen. Technogene Prozesse beschreiben diejenigen Prozesse, die erst durch das Vorhandensein des Endlagerbergwerks am Standort auftreten können. Sie sind abhängig von der technischen Auslegung des Endlagers. Der Einfluss der technogenen Prozesse auf die Sicherheitsfunktionen im Endlagersystem kann durch die Anpassung der Endlagerauslegung optimiert werden.

**Methodenbeschreibung zur Durchführung
der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen
gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung**



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 475

Beispiel 79: Geogene Prozesse im FEP-Katalog


Beispiel – Prozesse

In der OECD-NEA IFEP-Liste finden sich beispielsweise folgende geogene Prozesse(Auszug):

Tabelle 4 Auszug von Prozessen aus der OECD-NEA IFEP-Liste

OECD-NEA IFEP Events and Processes	deutsche Übersetzung
1.2.5 Magmatic and volcanic activity	Magmatische und vulkanische Aktivität
1.2.6 Metamorphism	Metamorphose
1.2.8 Regional erosion and sedimentation	Regionale Erosion und Sedimentation
1.2.9 Diagenesis	Diagenese
1.2.11 Salt dissolution	Salzauflösung

Die Auswahl der Prozesse muss für das jeweilige Vorhaben angepasst werden, teilweise kann es sinnvoll sein, auch die Definition zu spezifizieren. So wird in den rvSU vorausgesetzt, dass die technischen Barrieren im Endlagersystem allen Prozessen standhalten, die möglicherweise den Erhalt der Sicherheitsfunktionen der Barrieren oder Wirtsgesteins beeinträchtigen könnten. Damit können solche Prozesse wie verstärkte Korrosion der Behälter durch Mikroben und die zugehörigen FEP im FEP-Katalog der rvSU vernachlässigt werden.

Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung									 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	Blatt: 476
SG	0330				EA	TF	0002	00	

8.2.3.5 Verknüpfung zwischen Sicherheitsfunktionen und Komponenten und Prozessen

Um den Fokus der Szenarienentwicklung auf die sicherheitsrelevanten Aspekte innerhalb der Methodik zu lenken, ist es unerlässlich, eine Verknüpfung zwischen den im Sicherheitskonzept aufgestellten Sicherheitsfunktionen und den Komponenten und Prozessen innerhalb der FEP-Methodik zu schaffen.

Die Sicherheitsfunktionen der im Sicherheitskonzept definierten Barrieren finden sich als Eigenschaften von Komponenten in der FEP-Methodik wieder (Abbildung 164). Der Komponente „Wirtsgestein“ wird z. B. die Eigenschaft „Gebirgsdurchlässigkeit“ zugeschrieben, die im Sicherheitskonzept als Sicherheitsfunktion ausgewiesen ist. Der Erhalt der Sicherheitsfunktion(en) der Barriere ist daher über die Entwicklung der entsprechenden Eigenschaften in der Methodik erfassbar gemacht. Ein Prozess, der beispielsweise die Gebirgsdurchlässigkeit des Wirtsgesteins beeinflusst (Kapitel 8.2.3.6), hätte damit eine potenzielle sicherheitsrelevante Auswirkung, welche in einer Entwicklung beschrieben werden kann.

Auch wenn hier von der Komponente „Wirtsgestein“ gesprochen wird ist noch offen, ob diese so im FEP-Katalog definiert wird. Da das Wirtsgestein über den Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion, der einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich aufnehmen kann, oft hinausgeht, kann es stattdessen sinnvoll sein, dies über zwei getrennte Komponenten abzubilden.

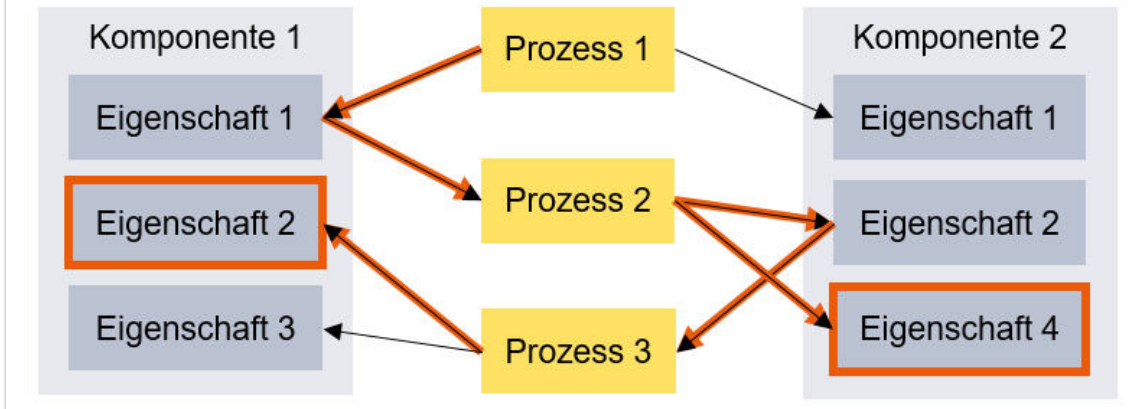
Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung



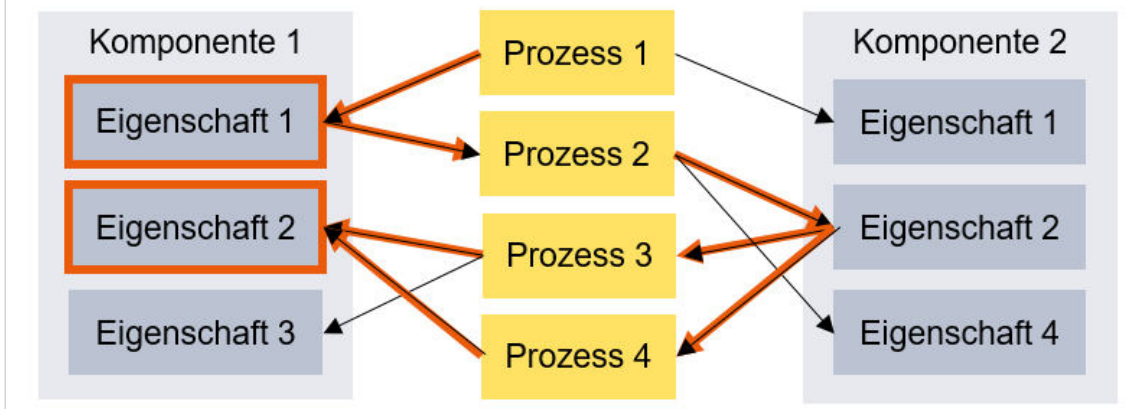
Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 477

Beziehungen im System in früher Phase



Beziehungen im System in späterer Phase



Eigenschaft mit Sicherheitsfunktion

- Interaktionen zwischen Eigenschaften und Prozessen
- Interaktion mit Auswirkung auf Sicherheitsfunktion

Abbildung 164 Veranschaulichung der im FEP-Katalog dokumentierten Beeinflussungen zwischen Prozessen und den Eigenschaften von Komponenten. Diese machen es möglich, direkte und indirekte Auswirkungen (rote Pfeile) auf Sicherheitsfunktionen (rote Kästen) zu identifizieren. Manche Komponenten erfüllen nur in bestimmten Zeiträumen Sicherheitsfunktionen. Durch die Entwicklung des Systems können Wechselwirkungen über die Zeit an Signifikanz für die Sicherheit gewinnen oder verlieren.

Für eine umfängliche Abbildung der Sicherheitsfunktionen in der FEP-Methodik ist es wichtig, einen Schritt einzuführen, in dem die entsprechenden Verknüpfungen zwischen Hauptsicherheitsfunktionen und Sicherheitsfunktionen und damit Eigenschaften der Komponenten hergestellt werden. Da die Entscheidung über eine solche Verknüpfung erheblich für die Ableitung der Entwicklungen ist, sollte im Dienste der Nachvollziehbarkeit eine entsprechende Dokumentation geführt werden und zur fachlichen Absicherung extern zur Diskussion gestellt werden (siehe auch Kapitel 8.2.3.9).

**Methodenbeschreibung zur Durchführung
der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen
gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung**



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 478

Sicherheitsfunktionen sind nach § 2 Nr. 8 EndISiAnfV definiert als:

§ 2 Nr. 8 EndISiAnfV

„eine Eigenschaft einer Komponente des Endlagersystems oder ein im Endlagersystem ablaufender Prozess, die oder der sicherheitsrelevante Anforderungen an ein sicherheitsbezogenes System oder Teilsystem oder an eine Einzelkomponente erfüllt;“

Aus dieser Definition ist ersichtlich, dass es sich bei Sicherheitsfunktionen nicht nur um Eigenschaften von Komponenten, sondern auch um Prozesse handeln kann. Im Rahmen dieser Methodik wird jedoch davon ausgegangen, dass jeder Prozess, der eine Sicherheitsfunktion darstellen kann, ebenso durch die Eigenschaft einer Komponente abgebildet werden kann. Beispielweise wird der Prozess „Sorptions“ durch die Sorptionskoeffizienten der Komponente bestimmt.

Beispiel 80: Beispiel zur Verknüpfung von Hauptsicherheitsfunktionen und Eigenschaften im FEP-Katalog

Beispiel zur Verknüpfung von Hauptsicherheitsfunktionen und Eigenschaften im FEP-Katalog


Tabelle 70: Beispiel zur Verknüpfung von Hauptsicherheitsfunktionen und Eigenschaften im FEP-Katalog

Sicherheitskonzept	FEP-Methodik
Hauptsicherheitsfunktion	Sicherheitsfunktion – Eigenschaften von Komponenten
Erhalt der Barrierewirkung	Gebirgsdurchlässigkeit
...	...

8.2.3.6 FEP-Screening

Das FEP-Screening wird an zwei Punkten auf dem Weg zur Ableitung der Entwicklungen durchgeführt und resultiert in der Aufstellung der wirtsgesteinsspezifischen und untersuchungsraumspezifischen FEP-Kataloge (Abbildung 161), auf deren Grundlage die Szenarienentwicklung stattfindet. Der Begriff Screening bezeichnet die systematische Prüfung und Filterung eines FEP-Katalogs hinsichtlich Relevanz in einem Endlagersystem.

Dieser Arbeitsschritt ist in drei Unterpunkte gegliedert. Zuerst werden die entsprechenden Ausprägungen der Komponenten und Prozesse hinterlegt, anschließend folgt eine Einschätzung bezüglich der Auftretens von Prozessen. Der Begriff „Auftreten“ wird für die meisten Prozesse und Komponenten als verständlicher empfunden als der Begriff der „bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit“ (z. B. Beuth et al. 2012). Jedoch ist der Begriff „Auftreten“ breiter zu verstehen und nicht rein auf das

Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung									 BUNDEGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	Blatt: 479
SG	0330				EA	TF	0002	00	

räumliche Auftreten beschränkt. Im letzten Schritt wird geprüft, ob eine Abhängigkeit, bzw. Beeinflussung, zwischen den Komponenten und Prozessen besteht. Das Zusammenwirken von Komponenten und Prozessen wird so definiert, dass Komponenten üblicherweise über Prozesse miteinander interagieren (Capouet et al. 2019):

„Features typically interact with one another via processes and in some cases events.“²²

Um diese Abhängigkeit zu prüfen, werden alle Eigenschaften einer Komponente den Prozessen unter Berücksichtigung der Ausprägungen in Form einer Matrix gegenübergestellt und

1. geprüft, ob die Eigenschaft von dem Prozess beeinflusst wird, und
2. ob der Prozess von der Eigenschaft beeinflusst wird.

So wird festgestellt, ob zwischen einer Komponente und einem Prozess eine Abhängigkeit besteht oder nicht. Die Entscheidung, ob eine Abhängigkeit besteht, wird in vielen Fällen subjektiv geprägt sein und wird dementsprechend dokumentiert sowie zur Diskussion gestellt (siehe Kapitel 8.2.3.9).

8.2.3.7 Wirtsgesteinsspezifische FEP-Kataloge

Grundlage der für die rvSU abzuleitenden Entwicklungen ist eine Zusammenstellung aller für die Phase I des Standortauswahlverfahrens relevanten Komponenten und Prozesse, die sich durch die spezifischen Vorgaben der EndlSiAnfV und EndlSiUntV ergeben (siehe Kapitel 8.2.3.1). Dabei wird der FEP-Katalog der OECD-NEA, die International FEP List (IFEP), als Ausgangspunkt gewählt sowie ein Abgleich mit den Projekten VSG und ANSICHT vorgenommen.

Aus dem übergeordneten FEP-Katalog aller für die Phase I des Standortauswahlverfahrens relevanten FEP wird mit Hilfe der geowissenschaftlichen Langzeitprognose und Referenzdaten ein FEP-Screening durchgeführt (Abbildung 165). Das Ergebnis dieses Screenings sind fünf separate, wirtsgesteinsspezifische FEP-Kataloge: Steinsalz (steil), Steinsalz (stratiform), Tongestein, Kristallin (mit einschlusswirksamem Gebirgsbereich) und Kristallin (ohne einschlusswirksamen Gebirgsbereich/ mit sicherem Einschluss durch technische und geotechnische Barrieren), siehe auch Abbildung 161. Die FEP-Kataloge werden in einer Datenbank aufgestellt (dazu mehr in Kapitel 8.2.3.9).

Die geowissenschaftliche Langzeitprognose enthält die wesentlichen Informationen zu den Ausprägungen der geogenen Prozesse in Deutschland. Diese Ausprägungen werden in die fünf FEP-Kataloge übertragen, wobei die Spanne der Werte mit der räumlichen Verteilung der Teilgebiete des entsprechenden Wirtsgesteins abgeglichen wird. Des Weiteren erfolgt an dieser Stelle eine Berücksichtigung der vorläufigen Endlagerauslegung. Anschließend folgt für jeden der Kataloge ein Screening auf Relevanz und Abhängigkeiten der Prozesse, siehe auch Abbildung 165. Dadurch wird eine zu erwartende Entwicklung für jedes wirtsgesteinsspezifische Endlagersystem aufgestellt, die an vielen Punkten noch unscharf ist. Dennoch können auf Basis dieser wirtsgesteinsspezifischen zu erwartenden Entwicklungen Sensitivitätsanalysen und Signifikanzuntersuchungen zur Relevanz von Parametern und Prozessen angestoßen werden.

²² Deutsch: „Komponenten interagieren typischerweise über Prozesse miteinander, in manchen Fällen über Ereignisse.“

**Methodenbeschreibung zur Durchführung
der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen
gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung**



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 480

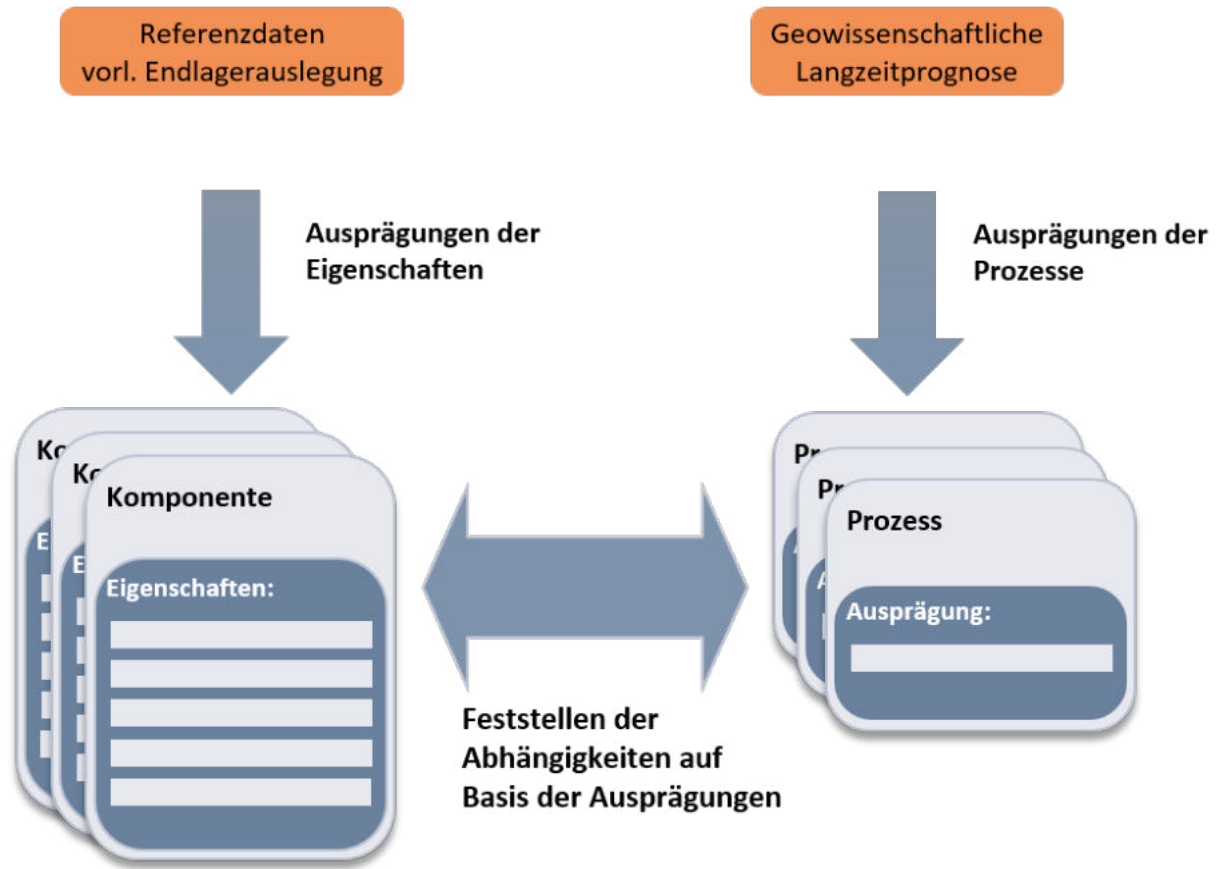


Abbildung 165: Schematische Darstellung des wirtsgesteinsspezifischen FEP-Screenings

Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 481

Beispiel 81: Auftreten von Prozessen

Beispiel – Auftreten

Der folgende Auszug aus dem IFEP-Katalog der OECD-NEA (Capouet et al. 2019) enthält die folgenden Prozesse:

- Magmatische und vulkanische Aktivität
- Metamorphose
- Regionale Erosion und Sedimentation
- Diagenese
- Salzauflösung
- Meeresspiegeländerungen
- Menschliche Einflüsse auf das Klima
- Mikrobielles Wachstum und Schwinden [Abfallform]

Für die rvSU wird eine sichere Auslegung der technischen Komponenten angenommen. Menschliche Aktivitäten sind nicht Teil der Betrachtungen, die in den rvSU vorgenommen werden. Der Prozess der Metamorphose läuft in der Regel bei höheren Temperaturen und Drücken ab, als sie im Suchbereich zwischen 300 und 1500 m auftreten, wobei es einen Übergangsbereich zur Diagenese gibt. Diese Prozesse können also zusammengefasst werden. Damit reduziert sich obiger Auszug auf (Auszug aus „FEP-Katalog STA“ in Abbildung 161):

- Meeresspiegeländerungen
- Magmatische und vulkanische Aktivität
- Diagenese und Metamorphose
- Regionale Erosion und Sedimentation
- Salzauflösung

Für ein wirtsgesteinsspezifisches Endlagersystem im Tongestein wird für alle Untersuchungsräume im Tongestein das Auftreten der Prozesse geprüft. Die Teilgebiete werden dabei als zusammenhängende Fläche betrachtet. Bei den hier beispielhaft gezeigten Prozessen führt dies zu keiner Änderung („Wirtsgesteinsspezifisches Endlagersystem – FEP-Katalog Tongestein“ in Abbildung 161).

Für einen Untersuchungsraum, wie beispielsweise das GzME „Opalinuston“ (01_00UR), fallen durch die geographische und geologische Situation die Prozesse „Meeresspiegeländerungen“ und „Salzauflösung“ weg, da das Gebiet tief im Binnenland liegt und keine Salzvorkommen auftreten (Stark 2014). Es ergibt sich folgende Untersuchungsraum-spezifische Liste (Auszug, „Untersuchungsraum – FEP-Katalog Tongestein“ in Abbildung 161):

- Magmatische und vulkanische Aktivität
- Diagenese und Metamorphose
- Regionale Erosion und Sedimentation

**Methodenbeschreibung zur Durchführung
der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen
gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung**



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 482


Beispiel 82: Ausprägung von Prozessen und Komponenten

Beispiel – Ausprägung

Für einen Untersuchungsraum wie das GzME „Opalinuston“ (01_00UR) müssen plausible und nicht auszuschließende Prozesse und Komponenten mit ihrer lokalen Ausprägung beschrieben werden. Plausible Prozesse und Komponenten können dabei eine voraussichtliche und eine mögliche Ausprägung haben. Für nicht auszuschließende Prozesse und Komponenten werden nur voraussichtliche Ausprägungen berücksichtigt, siehe auch Kapitel 8.2.4.

Tabelle 71: Auftreten und Ausprägung von Prozessen und Komponenten im Opalinuston

FEP	Auftreten	voraussichtliche Ausprägung	mögliche Ausprägung
(Prozess) magmatische und vulkanische Aktivität	nicht auszuschließen (Schreiber & Jentzsch 2021)	vulkanische Gänge dringen im Westen des UR in die Sedimentgesteine ein	-/-
(Prozess) Diagenese und Metamorphose	nicht auszuschließen	Kontaktmetamorphose im Kontext von Vulkanismus	-/-
(Prozess) regionale Erosion und Sedimentation	nicht auszuschließen (Stark 2014)	z. B. schwach (rückschreitende Erosion im Schichtstufenland im Westen des UR)	z. B. stark (rückschreitende Erosion und tiefe linienhafte Einschnitte im Westen des UR)
(Komponente) Wirtsgestein Tongestein	plausibel	voraussichtliche Werte	mögliche Werte
(Komponente) Deckgebirge	plausibel	voraussichtliche Werte	mögliche Werte
(Komponente) Wirtsgestein Steinsalz	auszuschließen	-/-	-/-

Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung									 BUNDEGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	Blatt: 483
SG	0330				EA	TF	0002	00	

8.2.3.8 untersuchungsraumspezifische FEP-Kataloge

Die in Kapitel 8.2.3.5 beschriebenen wirtsgesteinsspezifischen FEP-Kataloge bilden die Grundlage für die untersuchungsraumspezifischen Betrachtungen. Dazu wird für jeden Untersuchungsraum ein separater FEP-Katalog auf Basis des entsprechenden Wirtsgesteins mit untersuchungsraumspezifischen Daten angepasst. Hierfür werden Informationen aus der geowissenschaftlichen Langzeitprognose sowie aus der Geosynthese genutzt. Anschließend folgt für jeden der Kataloge ein Screening in dem die Relevanz und Abhängigkeiten der Prozesse angepasst wird (Abbildung 166). Dabei müssen nur Abhängigkeiten solcher FEP betrachtet werden, deren Ausprägung sich grundlegend gegenüber der wirtsgesteinsspezifischen verändert hat. Diese werden mit Hilfe der Datenbank entsprechend gekennzeichnet.

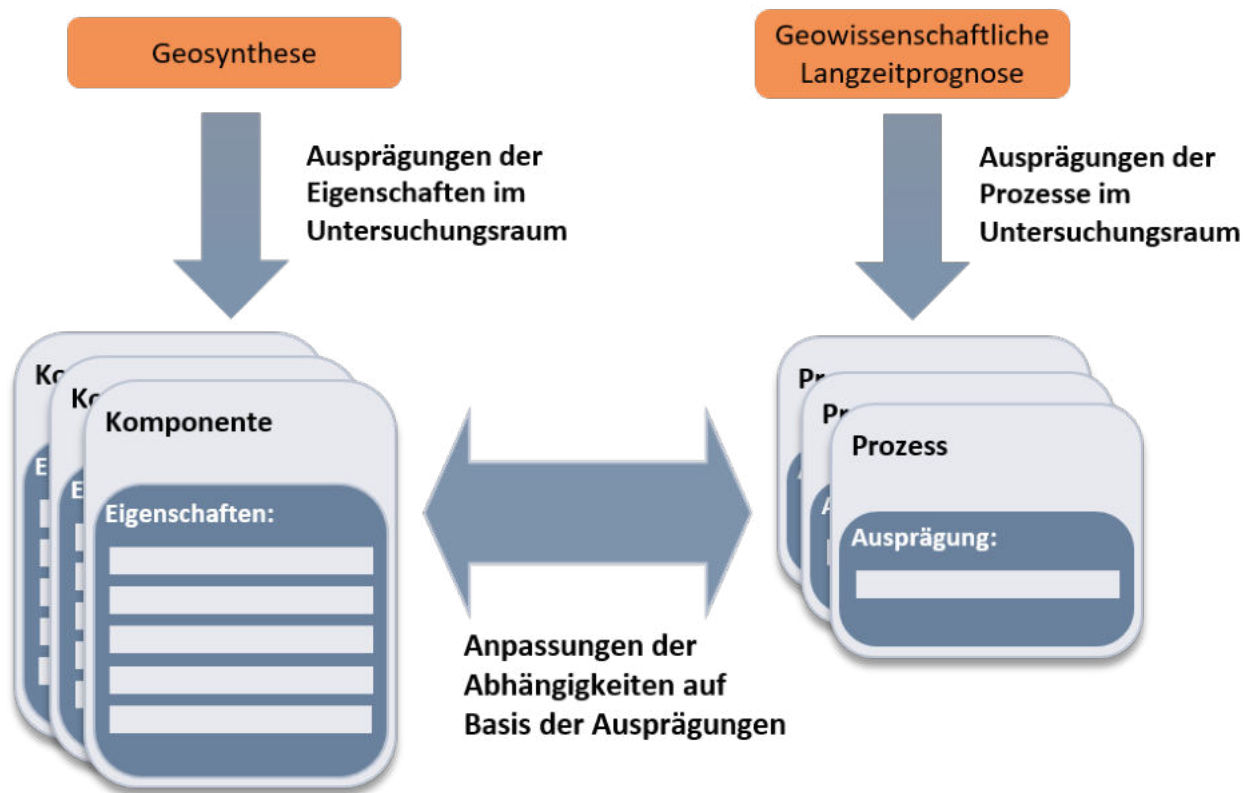


Abbildung 166: Schematische Darstellung des untersuchungsraumspezifischen Screenings

Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 484

Beispiel 83: Wirtsgesteinsspezifische und untersuchungsraumspezifische Beeinflussungen im Endlagersystem

Beispiel – Wirtsgesteinsspezifische und untersuchungsraumspezifische Beeinflussungen im Endlagersystem

Aus dem FEP-Katalog für ein wirtsgesteinsspezifisches Endlagersystem im Tongestein werden die Entwicklungen des wirtsgesteinsspezifischen Endlagersystems abgeleitet. Das Auftreten der Prozesse wird dabei für die Fläche aller Untersuchungsräume im Tongestein zusammen beurteilt, um mit den Entwicklungen des wirtsgesteinsspezifischen Endlagersystems einen Rahmen für die untersuchungsraumspezifischen Entwicklungen abzustecken, insbesondere hinsichtlich der Extrema. Die Ausprägung der Prozesse wird im wirtsgesteinsspezifischen Fall so gewählt, wie es maximal im Bereich der Untersuchungsräume plausibel möglich ist (Abbildung 167).

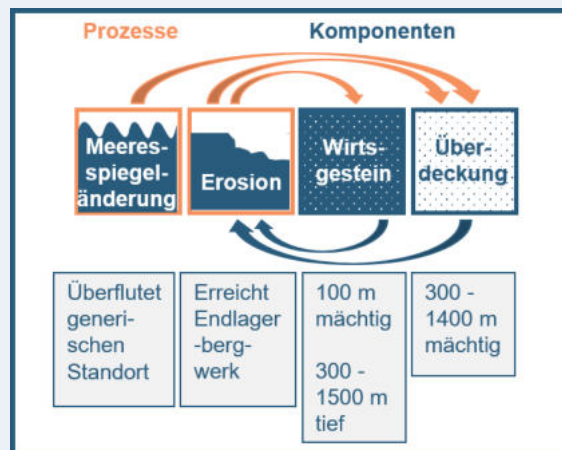


Abbildung 167: Auftreten und Ausprägung von Prozessen und Komponenten im wirtsgesteinsspezifischen Endlagersystem für Tongestein

Die so etablierten Zusammenhänge werden auf einen spezifischen Untersuchungsraum übertragen, hier GzME „Opalinuston“ (01_00UR). Dies erfolgt automatisiert in der Datenbank. Dann werden Auftreten und Ausprägung mittels Informationen aus der Geosynthese auf die lokalen Gegebenheiten angepasst (Abbildung 168).

Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNA AANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 485

Beispiel – Wirtsgesteinsspezifische und untersuchungsraumspezifische Beeinflussungen im Endlagersystem

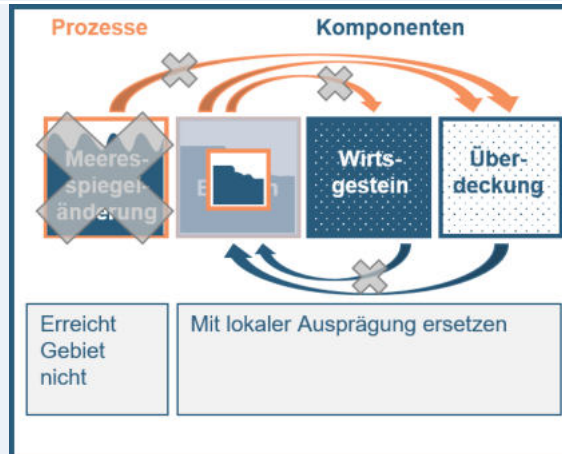


Abbildung 168: Anpassung von Auftreten und Ausprägung von Prozessen und Komponenten für das untersuchungsraumspezifische Endlagersystem

Die Beeinflussungen oder Abhängigkeiten von Prozessen und Komponenten im GzME „Opalinuston“ (01_00UR) sind gegenüber dem wirtsgesteinsspezifischen Endlagersystem reduziert (Abbildung 169). Die Ortsdaten sind Stark (2014) entnommen.

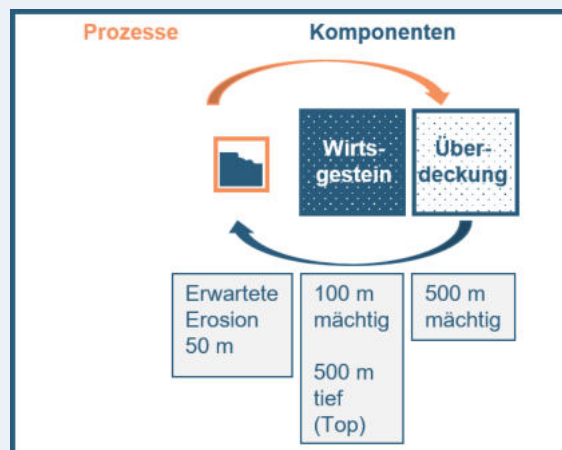



Abbildung 169: Auftreten und Ausprägung von Prozessen und Komponenten im untersuchungsraumspezifischen Endlagersystem

Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung									 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	Blatt: 486
SG	0330				EA	TF	0002	00	

8.2.3.9 Qualitätsmanagement und Nachvollziehbarkeit

Um die Nachvollziehbarkeit der Szenarientwicklung zu gewährleisten, ist es notwendig, neben der hier beschriebenen Methodik auch die technische Infrastruktur bereitzuhalten, die in der Lage ist, die zahlreichen Verknüpfungen zu dokumentieren. Dies geschieht mit der eigens für diesen Zweck entwickelten Datenbank.


Wie in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben, stellt der große Umfang der Arbeiten hohe Anforderungen an die Dokumentation.

Es wird angestrebt, diese Dokumentation mittels eines webbasierten Informationssystems (Datenbank mit Benutzeroberfläche) durchzuführen. Aus dieser Datenbank sollen alle Grundlagen (Eingangsparameter) für die Analyse des sicheren Einschusses im Endlagersystem unter Berücksichtigung der zukünftigen Entwicklungen ableitbar sein, so beispielsweise für numerische Simulationen, die einen Teil dieser Analyse darstellen können (Kapitel 8.5). Die Notwendigkeit für eine Datenbank ergibt sich außerdem aus den Abhängigkeiten (Verknüpfungen, Verlinkungen) zwischen den Elementen: so werden zum Beispiel die Abfallspezifikationen einmalig zusammengestellt, sind jedoch für jede Analyse pro Untersuchungsraum notwendig (siehe Abbildung 158). Ein Prototyp einer Datenbank, die für die Durchführung der rvSU im Schritt 2 der Phase I des Standortauswahlverfahrens genutzt werden soll, wird zurzeit erstellt.

Es ist notwendig, die Abhängigkeiten innerhalb der FEP-Datenbank (Kapitel 8.2.3.6) von jeweils fachlich qualifizierten Expertengruppen erstellen zu lassen. Dies kann sowohl BGE-intern als auch in Zusammenarbeit mit externen Fachexperten geschehen. Zur Nachvollziehbarkeit sollen nicht nur die Feststellungen von gegenseitiger Einflussnahme von Prozessen und Komponenten begründet werden, sondern auch die Feststellung von fehlenden Beeinflussungen.

Im Rahmen der Erarbeitung der FEP-Kataloge (Kapitel 8.2.3) soll ein Audit anhand der OECD-NEA IFEP-Liste erfolgen. Es soll tabellarisch zu jedem Element der IFEP-Liste festgehalten werden, welches Element im FEP-Katalog für das Standortauswahlverfahren ihm entspricht. Wenn ein Element der IFEP-Liste nicht aufgenommen wurde, ist dies zu begründen. Es ist geplant, die FEP-Kataloge in Kombination mit der Audit-Tabelle von externen Gutachtern auf eventuelle Inkonsistenzen, fachliche Qualität und gegebenenfalls unzulässige Vereinfachungen prüfen zu lassen.

Eine Vorgehensweise für eine Qualitätskontrolle der abgeleiteten Entwicklungen muss noch erarbeitet werden; es ist jedoch die Prüfung vorgesehen, ob die abgeleiteten Entwicklungen alle relevanten Prozesse des FEP-Katalogs beinhalten. Minimale Anforderung an die Qualitätskontrolle sind 4-Augen-Prüfungen bei allen Eintragungen in die Datenbank.

Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung									 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	Blatt: 487
SG	0330				EA	TF	0002	00	

8.2.4 Ableitung von Entwicklungen

Dieses Kapitel beschreibt die erstmalige Ableitung von Entwicklungen in den rvSU, die sich in dieser Phase des Standortauswahlverfahrens im Wesentlichen auf die geologische Umgebung eines Endlagers beschränkt. Technische Aspekte werden dabei vereinfacht behandelt (siehe Kapitel 8.2.3.1).

Die zentralen Elemente zur Bewertung der Langzeitsicherheit eines potenziellen Endlagerstandortes sind die Entwicklungen des Endlagersystems. Bei den wvSU und uvSU sind sie als Basis für die Bewertung der Integrität und Robustheit innerhalb der Langzeitsicherheitsanalyse heranzuziehen. Innerhalb der, in der aktuellen Phase I des Standortauswahlverfahrens durchzuführenden, rvSU bilden die Entwicklungen die Basis für die Bewertung des sicheren Einschlusses nach § 7 Abs. 6 EndlSiUntV. Der Anspruch bei der Ableitung von Entwicklungen ist dabei aber nicht die tatsächliche Zukunft des Endlagers und seiner Umgebung vorherzusagen, sondern systematisch schlüssige Möglichkeiten für potenzielle Entwicklungen zu ermitteln und diese anhand von qualitativen Wahrscheinlichkeitsstufen klassifiziert aufzuzeigen, mit dem Ziel, systematisch die tatsächliche Entwicklung des Endlagersystems abzudecken. Im Rahmen der rvSU wird die Betrachtung von zu erwartenden und abweichenden Entwicklungen gefordert. Nicht zu betrachten sind hypothetische Entwicklungen und Entwicklungen aufgrund zukünftiger menschlicher Aktivitäten.

Die Entwicklungen werden mittels der international üblichen Methodik der systematischen Szenari-entwicklung abgeleitet (OECD-NEA 2016). Die zu erwartenden Entwicklungen entsprechen dabei den üblicherweise verwendeten *reference scenarios* (auch *base scenario*, *normal scenario*, *reference evolution*), während die abweichenden Entwicklungen den *alternative scenarios* (auch *altered evolution*) entsprechen (OECD-NEA 2016). Zwecks Übersichtlichkeit wird im Folgenden in erster Linie der Begriff „Entwicklung“ verwendet, der Begriff „Szenario“ ist dazu synonym zu verstehen.

Eine systematische Vorgehensweise ist von besonderer Bedeutung (Röhlig et al. 2012), um eine konsistente Einstufung der qualitativen Wahrscheinlichkeit über eine Vielzahl von zu betrachtenden Untersuchungsräumen zu gewährleisten. Dies wird zum einen über die nachvollziehbare strukturierte Vorgehensweise bei der Aufstellung der FEP-Kataloge erreicht (Kapitel 8.2.3), zum anderen durch festgelegte Ausgangspunkte, von denen aus Szenarien abgeleitet werden, die dann in ihrer Gesamtheit die Entwicklungen abdecken. Beuth et al. (2016, S. 681) stellen in diesem Zusammenhang fest:

„Die Ableitung von Szenarien unter Zugrundelegung einer systematischen Vorgehensweise beinhaltet keinen inhärenten Automatismus, der die sicherheitsrelevanten Szenarien selbstständig generiert oder identifiziert.“

Damit soll zum Ausdruck gebracht werden, dass bei aller Systematik die Perspektive und das Wissen der Bearbeitenden die Ableitung von Entwicklungen bestimmen. Gleichzeitig findet bei der Szenari-entwicklung eine umfassende Zusammenschau von Beeinflussungen und Signifikanzen statt, die auf die wissenschaftliche Expertise der Bearbeitenden angewiesen ist und nicht automatisiert werden kann.

In Abbildung 170 wird die systematische Einordnung von zu erwartenden und abweichenden Entwicklungen dargestellt. Dabei sind vier Pfade zu unterscheiden, von denen nur einer (Nr. 1) in die

Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 488

zu erwartende Entwicklung führt. Die Kombination der voraussichtlichen Ausprägung von Prozessen und Komponenten (solange sie sich nicht gegenseitig ausschließen, z. B. Sedimentation vs. Erosion oder inkompatible Ausprägungen von Eigenschaften von Komponenten) ergibt die zu erwartende Entwicklung. Dabei kann es mehr als eine voraussichtliche Ausprägung geben, um z. B. zukünftige klimatische Entwicklungen zu erfassen, die gleich wahrscheinlich erscheinen (Begründung zu § 3 Abs. 3 EndlSiAnfV, BT-Drs. 19/19291). Abweichende Entwicklungen ergeben sich äquivalent dazu und werden durch drei Kombinationspfade erreicht (Nr. 2, 3, und 4). Bei Pfad Nr. 2 wird die voraussichtliche Ausprägung der plausiblen Prozesse mit möglichen Ausprägungen von Komponenten kombiniert; Pfad Nr. 3 kombiniert die voraussichtliche Ausprägung der Komponenten mit möglichen Ausprägungen von plausiblen Prozessen; Pfad Nr. 4 kombiniert die nicht auszuschließenden Prozesse mit den möglichen Ausprägungen der Komponenten.

Wenn verschiedene Entwicklungen absehbar zu gleichen Konsequenzen für die Sicherheit des Endlagersystems führen, können sie als Gruppe bearbeitet werden. Sicherheitsrelevante Entwicklungen müssen dahingehend geprüft werden, ob sie unabhängig voneinander auftreten können.

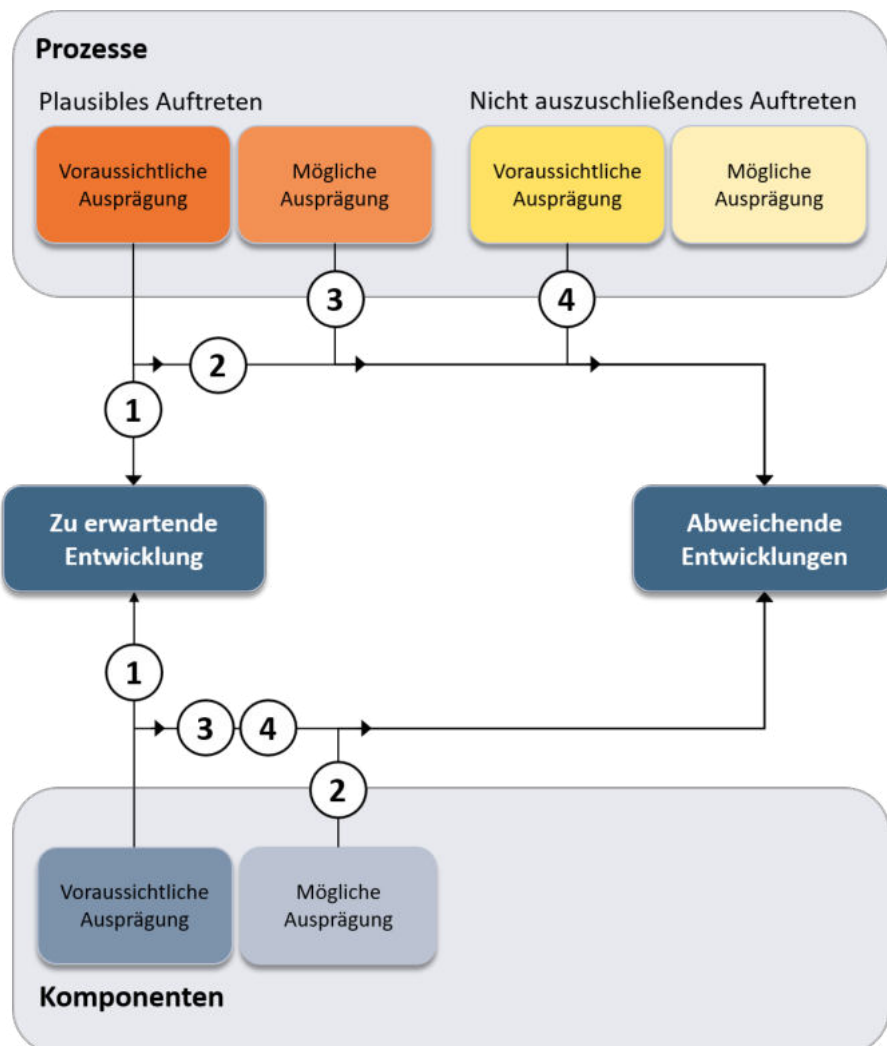



Abbildung 170: Schematische Darstellung zur Einordnung der Wahrscheinlichkeiten von Entwicklungen

2020-10-26_PM_QMV02_Textblatt A4 Hochformat_REV02

Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung								 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG	
Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 489
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
SG	0330				EA	TF	0002	00	

8.2.4.1 Ausgangspunkte der Ableitung von Entwicklungen

Die Ausgangspunkte der Szenarientwicklung liegen in potenziellen Beeinträchtigungen von Sicherheitsfunktionen bestimmter Barrieren sowie in regulatorischen Vorgaben zum Erhalt der Barrierewirkung gemäß § 23 Abs. 5 Nr. 5 StandAG.

In der Szenarientwicklung wird in der Regel zwischen einem Top-Down- und einem Bottom-Up-Ansatz unterschieden. Bei einem Top-Down-Ansatz liegt der Ausgangspunkt bei einer sicherheitsrelevanten Komponente (in der Regel einer Barriere) oder einem sicherheitsrelevanten Prozess, während bei einem Bottom-Up-Ansatz ein beliebiger Prozess als Ausgangspunkt gewählt wird, um zu untersuchen, ob dieser die Sicherheit eines Endlagersystems potenziell gefährdet (Uhlmann 2016).


Der Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion ist von wesentlicher Bedeutung für die Betrachtung des sicheren Einschusses für das Endlagersystem Typ 1 in den rvSU. Dieser Fokus spiegelt sich auch in den Ausgangspunkten für die Ableitung der Entwicklung wider. Ausgehend von § 7 Abs. 6 Nr. 1 EndlSiUntV sind die geogenen Prozesse Ausgangspunkt für die Ableitung zunächst der zu erwartenden Entwicklungen. Dies entspricht einem Bottom-Up-Ansatz in der Szenarientwicklung, der die vielfältigen und vor allem die von außen auf das Endlagersystem einwirkenden Prozesse bis zu den für die Langzeitsicherheit relevanten Sicherheitsfunktionen der Barrieren verfolgt (z. B. OECD-NEA 2016, S. 44).

Da sich ohne eine Eingrenzung sehr viele mögliche Szenarien ergeben können, bietet sich eine Fokussierung auf solche Szenarien an, die eine Aussage über die Sicherheit eines Endlagersystems ermöglichen können. Diese Eingrenzung wird über die Sicherheitsfunktionen der Barrieren vorgenommen (OECD-NEA 2013, S. 36), siehe auch Kapitel 8.2.3.5.

Da nach § 23 StandAG die zu erwartende Entwicklung des Wirtsgesteinsbereichs mit Barrierefunktion und somit der wesentlichen Barriere für die Bewertung der Erfüllung der Mindestanforderungen einbezogen werden soll (§ 23 Abs. 5 Nr. 3 StandAG minimale Teufe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs, Nr. 5 Erhalt der Barrierewirkung), ist es sinnvoll, den Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion, der einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich aufnehmen kann, als primären Ansatzpunkt zu wählen und potenzielle Beeinträchtigungen der ausgewiesenen Sicherheitsfunktionen zu prüfen. Die Entwicklung der Barrieren auf diese Weise zu betrachten („Was kann zur Beeinträchtigung dieser Barriere führen?“) entspricht einem Top-Down-Ansatz (z. B. OECD-NEA 2016, S. 44).

Bei der Ableitung der Entwicklungen soll eine hinreichend abdeckende Betrachtung erreicht werden, in der sich die beiden Ansätze ergänzen, wie es international üblich ist (z. B. OECD-NEA 2016, S. 62).

Ergänzend kann es beispielsweise notwendig werden, den Transport der Radionuklide als Ausgangspunkt aufzunehmen, da der Radionuklidtransport aus dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich heraus nach § 4 EndlSiAnfV ein wichtiger Maßstab für die Qualität des sicheren Einschusses ist. Werden die Entwicklungen des Radionuklid-Transports nicht als Ausgangspunkt gewählt, ist es auch nur bedingt möglich, aus der Ableitung der Entwicklungen heraus einwirkende Komponenten zu benennen, die bei der Optimierung des Endlagersystems angepasst werden könnten.

Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung									 BUNDEGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	Blatt: 490
SG	0330				EA	TF	0002	00	

Um die Entwicklungen eingängig strukturiert aufzuzeigen, nutzten vorrangegangene Projekte Teilsysteme, wie z. B. „Nahfeld“ oder „Strecken und Schächte“ etc. (Wolf 2012). Aufgrund der Tatsache, dass sich die Szenarienentwicklung innerhalb der rvSU auf die geologische Barriere beschränkt, wird zum jetzigen Zeitpunkt auf eine solche systematische Einteilung verzichtet. Für die Entwicklungen der wirtsgesteinsspezifischen Endlagersysteme könnte eine nach Teilsystemen gegliederte Beschreibung sinnvoll sein. Für die untersuchungsraumspezifischen Untersuchungen sollte dies nicht erforderlich sein.

8.2.4.2 Wirtsgesteinsspezifische Entwicklungen

Die wirtsgesteinsspezifischen Entwicklungen basieren auf den wirtsgesteinsspezifischen FEP-Katalogen, siehe Kapitel 8.2.3.7. Die zu erwartende Entwicklung wird ausgehend von den geogenen Prozessen beschrieben. Diese Betrachtung hat neben dem Aufzeigen von potenziellen Beeinträchtigungen von Sicherheitsfunktionen das Ziel, zum allgemeinen Systemverständnis beizutragen. Sie umfasst außerdem eine grobe Beschreibung des Endlagers in dem entsprechenden Wirtsgestein.

Abweichende Entwicklungen ergeben sich aus der Kombination von Auftreten und Ausprägung von Prozessen und Komponenten gemäß Abbildung 170 und setzen an den Sicherheitsfunktionen der Komponenten an.


Die Entwicklung des Endlagersystems wird in Anlehnung an SKB (2011a, S. 64) in zeitliche Phasen geteilt, die mit immer fernerer Zukunft größer und unschärfer werden. Die Einteilung der betrachteten zeitlichen Phasen basiert im Wesentlichen auf dem zeitlichen Wirkungsbereich der Sicherheitsfunktionen der Barrieren. Eine sich wahrscheinlich anbietende Aufteilung könnte wie folgt aussehen:

Die erste Phase beschreibt die Entwicklung zu Beginn des Bewertungszeitraumes, in der sich die natürlichen Gleichgewichte am Standort nach der Auffahrung des Endlagers neu einstellen. Gleiches geschieht für die thermische Entwicklung des Endlagersystems, insbesondere durch den Wärmeausstrag der Abfälle (vgl. Kapitel 4.2.8.5). Sie endet mit dem Abschluss des aktuellen Interglazials.

Die zweite Phase beschreibt die Entwicklungen im Übergang zum nächsten Glazial, das nächste Glazial, und den Übergang ins nächste Interglazial.

Die letzte Phase beschreibt überschlüssig die Entwicklungen bis zum Ende des Bewertungszeitraums.

Die zu erwartende Entwicklung eines Gebiets umfasst Änderungen des Endlagersystems in vielerlei Hinsicht. Es ist sinnvoll, diese nach ihren wesentlichen Beziehungen gegliedert zu behandeln. Die in Abbildung 171 gezeigte Reihenfolge (klimatisch – thermisch – mechanisch – hydrogeologisch – geochemisch) entspricht der Gliederung in der Reference Evolution (entspricht in etwa der zu erwartenden Entwicklung) im schwedischen Projekt SR-Site (SKB 2011b). Für jede Entwicklungsphase werden die Vorgänge im Endlagersystem diskutiert. Die Entwicklung wird dabei „Bottom-up“, das heißt in diesem Fall chronologisch und den Auswirkungen einzelner Prozesse folgend, diskutiert. Klimatische Änderungen beeinflussen thermische Entwicklungen, thermische Entwicklungen können mechanische Folgen haben, mechanische Änderungen (z. B. eine Rissbildung) kann wie-

Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung									 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	Blatt: 491
SG	0330				EA	TF	0002	00	

derum Einfluss auf die Grundwasserbewegungen nehmen, die wiederum die geochemische Entwicklung beeinflussen. Zwischen thermischen, mechanischen, hydrogeologischen und geochemischen Entwicklungen kann es wechselseitige Beeinflussungen geben, die klimatische Entwicklung wird jedoch von außerhalb eines Untersuchungsraums beeinflusst. In manchen Untersuchungsräumen kann die klimatische Entwicklung weniger relevant sein, und auch sonst können Prozesse klimaunabhängig sein. Diese werden separat betrachtet.

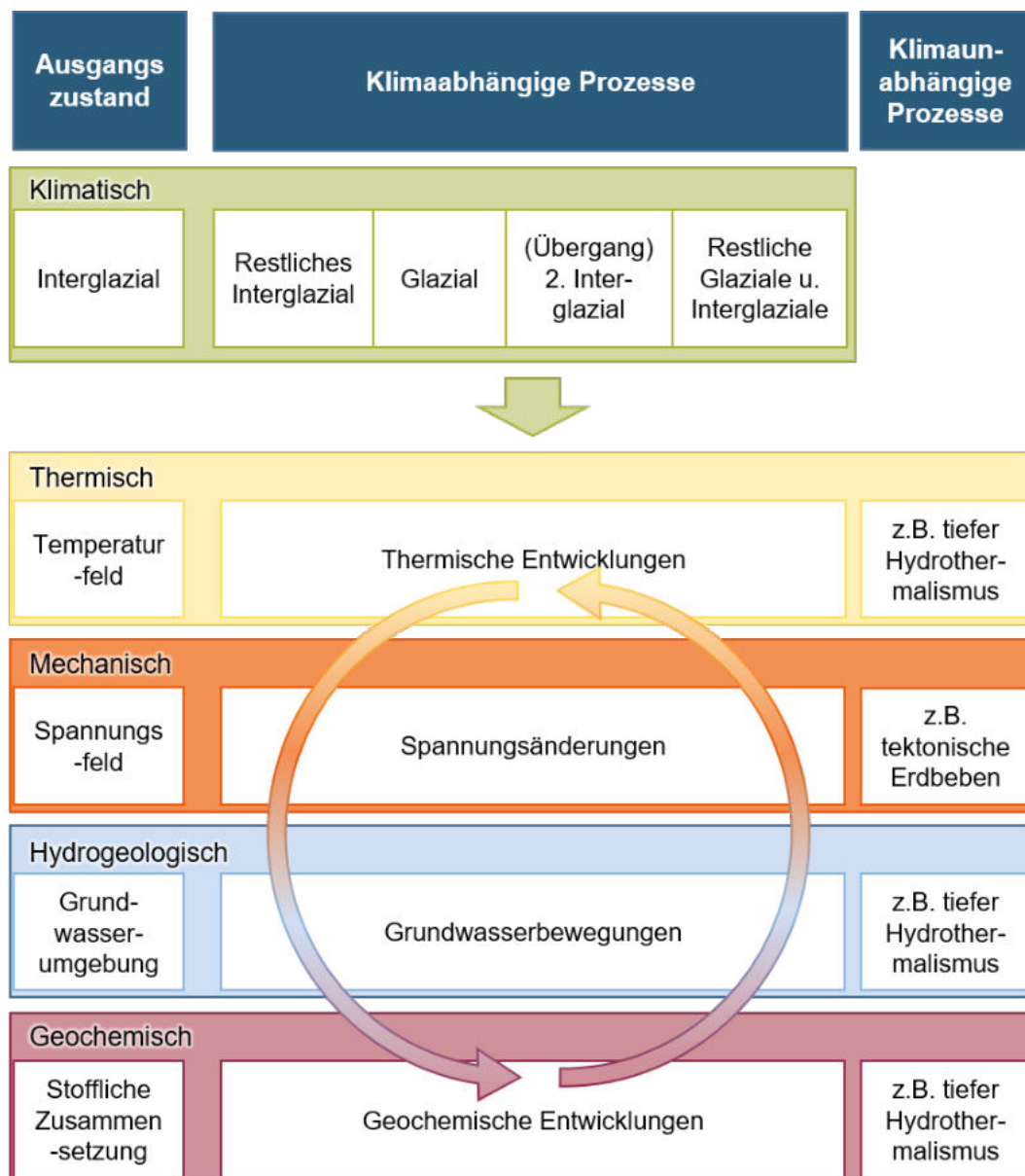


Abbildung 171: Mögliche Betrachtungsreihenfolge von Themenfeldern innerhalb der Beschreibung der Entwicklung eines Endlagersystems, geordnet nach Klimaphasen, mit getrennter Diskussion klimaunabhängiger Prozesse

**Methodenbeschreibung zur Durchführung
der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen
gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung**



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 492

Beispiel 84: Entwicklung eines wirtsgesteinsspezifischen Endlagersystems in Steinsalz in steiler Lagerung

Beispiel – Entwicklung eines wirtsgesteinsspezifischen Endlagersystems in Steinsalz in steiler Lagerung

Detaillierte Beschreibung von Abbildung 172.

- a) Ausgangszustand zu Beginn des Bewertungszeitraums. Der generische Salzstock liegt über einer Sockelstörung, im Deckgebirge des Salzstocks befinden sich Scheitelstörungen. Über dem Salzstock verläuft eine quartäre Rinne. Sowohl in der Rinne als auch in einer sandigen Schicht im Deckgebirge fließt Grundwasser. Im Salzstock liegt unter einer Salzscheibe von 300 m (rot schraffiert) der Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion (blaue Form, „WbB“ in der Abbildung). Im Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion liegt ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich mit Endlager. Das Endlager sowie seine Tageszugänge (hier als Schacht dargestellt) sind verfüllt und verschlossen. Gesteinsschichten: z – Zechstein, tr – Trias, j – Jura, kr – Kreide, t – Tertiär, q – Quartär.
- b) Beginn des Bewertungszeitraums. Durch den radioaktiven Zerfall entsteht Wärme, die konduktiv aus dem Endlager abgeführt wird. Der Versatz im Endlagerbauwerk konvergiert, Spannungen bauen sich ab.
- c) Eine Klimaänderung führt zu sinkenden Atmosphärentemperaturen und so zu Permafrost in den obersten Gesteinsschichten. Die Wärmeproduktion durch den radioaktiven Zerfall ist abgeklungen, das Endlagerbauwerk steht im Gleichgewicht mit seiner Umgebung. Der Permafrost bringt den Grundwasserfluss oberflächennah zum Erliegen (vgl. Mrugalla 2011).
- d) Der generische Salzstock wird von einem Gletscher überfahren. Der Gletscher isoliert den Untergrund thermisch. Die Veränderungen der Auflast führen zur Störungsreaktivierung im Deckgebirge des Salzstocks (vgl. Huster et al. 2020). Die Auflast durch den Gletscher führt zu erneuter Salzmobilisierung und Aufstiegsbewegungen des Salzstocks. Durch hohe Drücke unterhalb des Gletschers und die thermische Isolation erreicht das Grundwasser unter dem Gletscher nicht mehr den Gefrierpunkt und fließt wieder (vgl. Mrugalla 2011).
- e) Der Gletscher schmilzt ab. Die Massenbewegungen durch das mobilisierte Salz haben einerseits Deformationen im Gestein im Aufstiegsbereich, andererseits oberflächennahe Risse im Abwanderungsbereich hervorgerufen (vgl. Hardt et al. 2021). Schmelzwässer unter hohen Drücken vertiefen die existierende glaziale Rinne. Es kommt zu Subrosion am Top der Salzstruktur, das Endlager ist durch die Salzscheibe davon räumlich getrennt.

**Methodenbeschreibung zur Durchführung
der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen
gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung**

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 493

Beispiel – Entwicklung eines wirtsgesteinsspezifischen Endlagersystems in Steinsalz in steiler Lagerung

f) Ein weiteres Interglazial. Das Endlager ist verformt, die Schachtverfüllung teilweise erodiert. Es sind neue Oberflächengewässer entstanden, das hydrogeologische Regime in den oberflächennahen Schichten ist verändert (vgl. Mrugalla 2011).

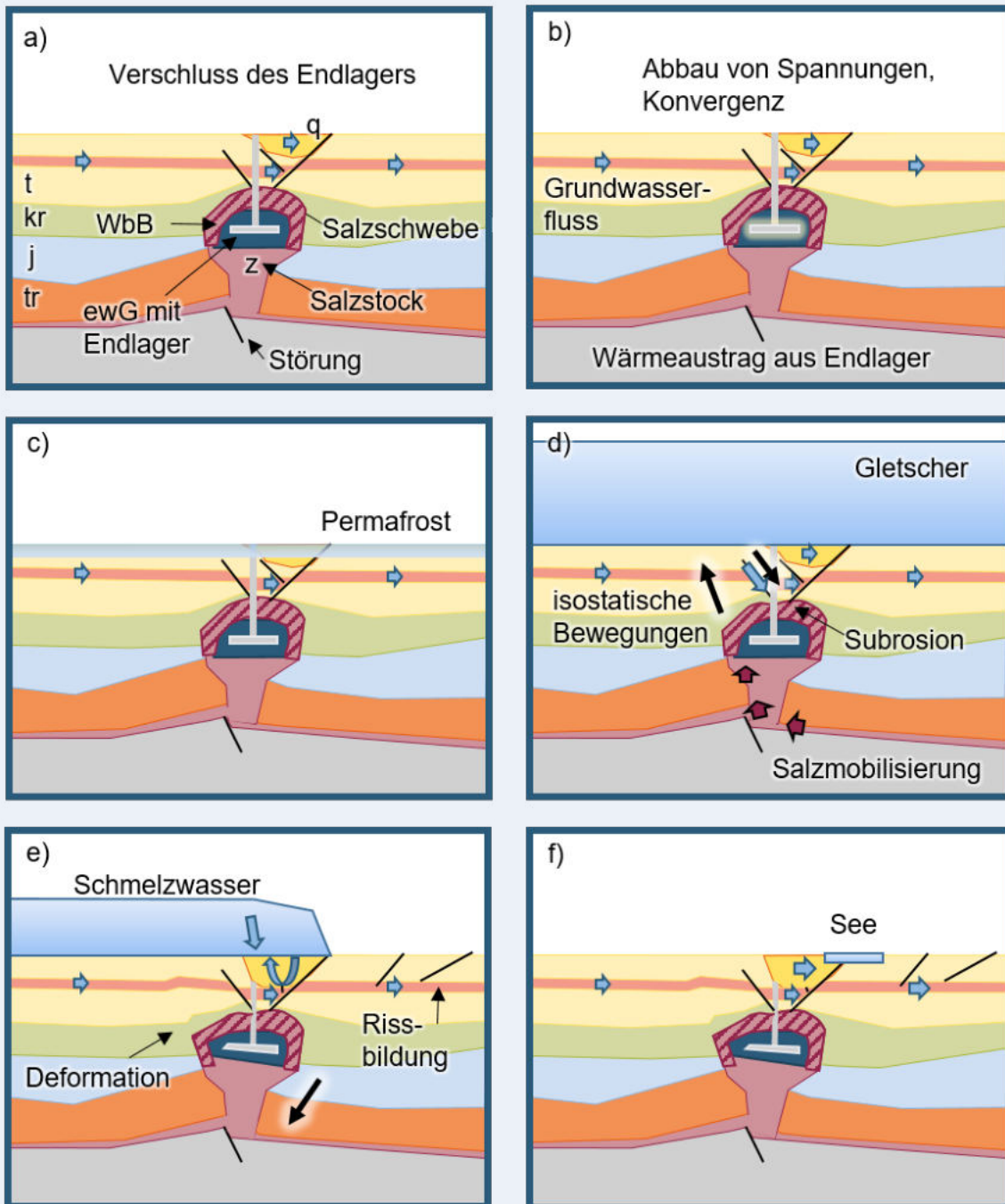


Abbildung 172: Beispielhafte Entwicklung für ein Endlagersystem mit dem Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung (nähere Beschreibung im Text)

**Methodenbeschreibung zur Durchführung
der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen
gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung**



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 494

8.2.4.3 Von wirtsgesteinsspezifischen zu untersuchungsraumspezifischen Entwicklungen

Die untersuchungsraumspezifischen Entwicklungen basieren auf den untersuchungsraumspezifischen FEP-Katalogen, siehe Kapitel 8.2.3.8, werden aber von den wirtsgesteinsspezifischen Entwicklungen abgedeckt. Die untersuchungsraumspezifischen Entwicklungen sind also eine Verfeinerung der wirtsgesteinsspezifischen Entwicklungen in einer Region. Wenn sich die Ausprägung von Prozessen oder Komponenten oder das Auftreten innerhalb eines Untersuchungsraums von den wirtsgesteinsspezifischen unterscheidet, kann dies in den untersuchungsraumspezifischen Entwicklungen berücksichtigt werden. Dabei können Entwicklungen, die z. B. von geogenen Prozessen ausgehen, für einen Untersuchungsraum unberücksichtigt bleiben, wenn dieser Prozess untersuchungsraumspezifisch nicht mehr relevant ist.

Bei den untersuchungsraumspezifischen Entwicklungen stehen somit vor allem ihre Differenzen zur wirtsgesteinsspezifischen zu erwartenden Entwicklung im Fokus. Dies soll vorbereitend dem späteren Vergleich verschiedener Gebiete dienen.

Auf die Betrachtung der Entwicklung des Endlagers wird hierbei verzichtet, da aus der vorläufigen Endlagerauslegung in den rvSU für den Untersuchungsraum kein höherer Detailgrad als in der Ableitung der Entwicklung der wirtsgesteinsspezifischen Endlagersysteme erreicht wird.

Beispiel 85: Entwicklung eines untersuchungsraumspezifischen Endlagersystems, Anwendungsbeispiel GzME „Salzstock Bahlburg (02_00UR)

Beispiel – Entwicklung eines untersuchungsraumspezifischen Endlagersystems GzME „Salzstock Bahlburg (02_00UR)

Der in Abbildung 173 gezeigten Entwicklung für das GzME „Salzstock Bahlburg“ (02_00UR) sei vorangestellt, dass es sich hierbei nicht um das Ergebnis einer systematischen Herleitung einer zu erwartenden Entwicklung handelt, da der Fokus auf der Methodenentwicklung liegt. Die dafür notwendigen grundlegenden Arbeiten wie z. B. die Erstellung des FEP-Katalogs sind hier im Methodendokument vorgestellt, aber noch nicht durchgeführt. Betrachtet wird die Interaktion der Geosphäre mit einer Auswahl geogener Prozesse. Die gezeigten Prozesse werden absehbar im Gebiet 02_00UR als plausibel eingestuft, ihre voraussichtliche Ausprägung ist aber zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht bestimmt. Sie können im Gebiet 02_00UR schwächer oder stärker ausfallen als im Beispiel dargestellt. Es können außerdem noch weitere Prozesse auftreten, deren Auswirkungen im Endlagersystem berücksichtigt werden müssen. Die Skizze ist nicht maßstäblich.

Im Gegensatz zur Entwicklung des wirtsgesteinsspezifischen Endlagersystems ist hier kein Endlagerbauwerk Teil der Entwicklung. Stattdessen wird die Entwicklung des Wirtsgesteinsbereichs mit Barrierenfunktion untersucht, für den danach die Endlagerauslegung konkretisiert wird (Kapitel 8.6.2). Die Unterabbildung a) zeigt den Ausgangszustand basierend auf der Geosynthese. Die Unterabbildungen b) bis d) zeigen die potenziell zu erwartende Entwicklung des Gebiets, ausgehend von Mrugalla (2011).

**Methodenbeschreibung zur Durchführung
der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen
gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung**



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 495

**Beispiel – Entwicklung eines untersuchungsraumspezifischen Endlagersystems GzME
„Salzstock Bahlburg (02_00UR)**

Detaillierte Beschreibung von Abbildung 173:

- a) Ausgangszustand zu Beginn des Bewertungszeitraums. Der Salzstock Bahlburg liegt über einer Sockelstörung, im Deckgebirge des Salzstocks befinden sich Scheitelstörungen. Über dem Salzstock verläuft eine quartäre Rinne. Diese Informationen stammen aus der Geosynthese. Es wird angenommen, dass in den Rinnensedimenten Grundwasserfluss besteht, das hydrogeologische Regime im Gebiet ist noch nicht näher bekannt. Im Salzstock liegt unter einer Salzscheibe von 300 m (rot schraffiert) der Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion (blaue Form, „WbB“ in der Abbildung). Im Gegensatz zum generischen Salzstock wird hier nicht von einem Grundwasserleiter in der Überdeckung ausgegangen. Gesteinsschichten: z – Zechstein, tr – Trias, j – Jura, kr – Kreide, t – Tertiär, q – Quartär.
- b) Eine Klimaänderung führt zu sinkenden Atmosphärentemperaturen (entspricht c) in Abbildung 172) und damit zu Permafrost in den obersten Gesteinsschichten und bringt den Grundwasserfluss dort zum Erliegen (vgl. Mrugalla 2011).
- c) Der Salzstock wird von einem Gletscher überfahren (entspricht d) in Abbildung 172). Der Gletscher isoliert den Untergrund thermisch. Die Veränderungen der Auflast führen zur Störungsreaktivierung im Deckgebirge des Salzstocks (vgl. Huster et al. 2020). Der Gletscher hat eine geringe Mächtigkeit als in der zu erwartenden Entwicklung des generischen Salzstocks, die Auswirkungen sind damit geringer. Die Auflast durch den Gletscher kann zu Salzmobilisierung und schwachen Aufstiegsbewegungen des Salzstocks führen. Durch hohe Drücke unterhalb des Gletschers und die thermische Isolation erreicht das Grundwasser unter dem Gletscher nicht mehr den Gefrierpunkt und fließt wieder (vgl. Mrugalla 2011).
- d) Der Gletscher schmilzt ab (entspricht e) in Abbildung 172). Die Massenbewegungen durch das mobilisierte Salz können einerseits geringe Deformationen im Gestein, andererseits oberflächennahe Risse hervorrufen (vgl. Hardt et al. 2021), allerdings in geringerem Ausmaß als in der zu erwartenden Entwicklung des generischen Salzstocks. Schmelzwässer unter hohen Drücken vertiefen die existierende glaziale Rinne, weniger als über dem generischen Salzstock. Es kann zu Subrosion am Top der Salzstruktur kommen, geringer als beim generischen Salzstock, der Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion wäre durch die Salzscheibe davon räumlich getrennt.

**Methodenbeschreibung zur Durchführung
der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen
gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung**

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 496

**Beispiel – Entwicklung eines untersuchungsraumspezifischen Endlagersystems GzME
„Salzstock Bahlburg (02_00UR)“**

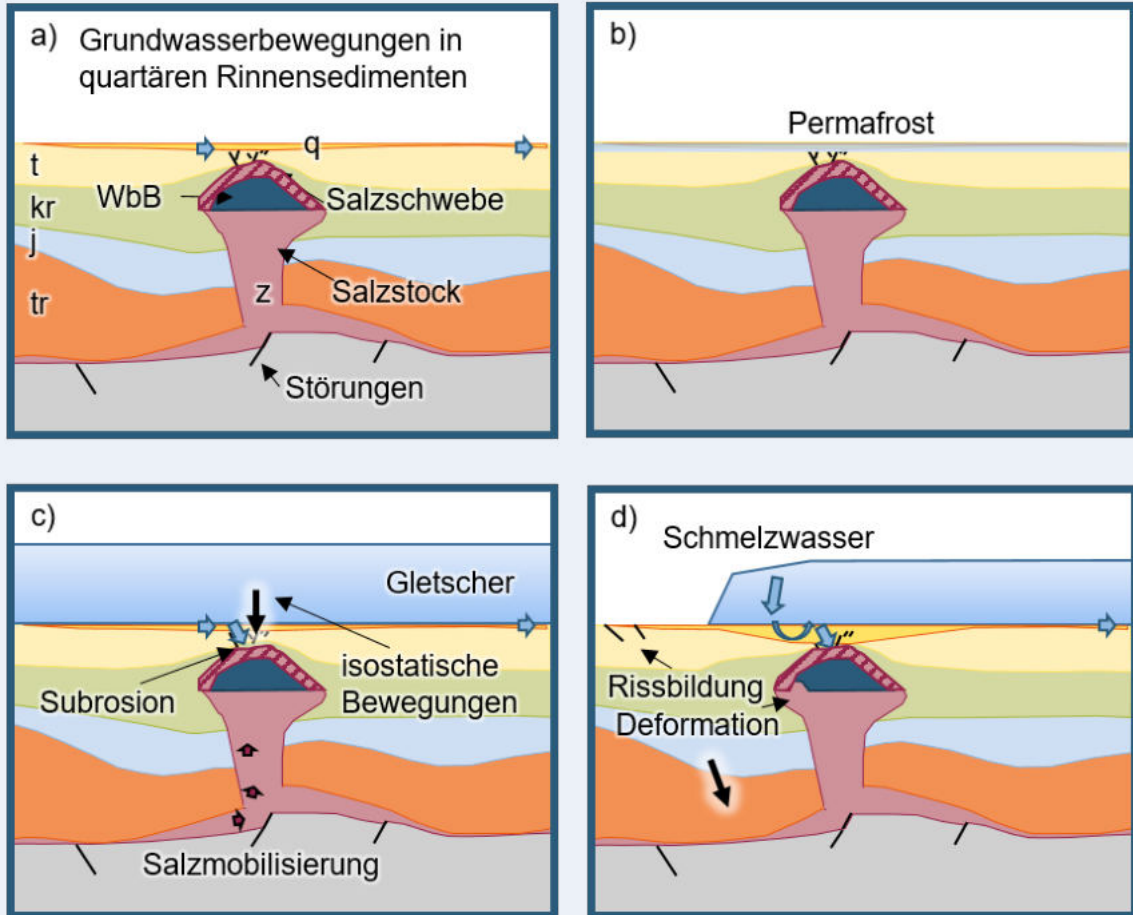


Abbildung 173: *Beispielhafte Entwicklung für ein Endlagersystem mit dem Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung für das GzME „Salzstock Bahlburg“ (schematische Darstellung ohne Maßstab). Grundsätzlich werden die gleichen Prozesse wie in der wirtsgesteinsspezifischen Entwicklung, die in Abbildung 172 dargestellt ist, zu erwarten sein. Aus der grundsätzlich schwächeren ortsspezifischen Ausprägung der Prozesse ergeben sich weniger oder keine sicherheitsrelevanten Auswirkungen.*

**Methodenbeschreibung zur Durchführung
der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen
gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung**



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 497

Beispiel 86: Entwicklung eines untersuchungsraumspezifischen Endlagersystems GzME „Opalinuston“ (01_00UR)

Beispiel – Entwicklung eines untersuchungsraumspezifischen Endlagersystems GzME „Opalinuston“ (01_00UR)

Wie im vorigen Beispiel ist hier eine „zu erwartende Entwicklung“ für das GzME „Opalinuston“ (01_00UR) skizziert, die nicht aus einer systematischen Ableitung entstanden ist, da der Fokus auf der Methodenentwicklung liegt. Die gezeigten Prozesse werden absehbar im Gebiet 01_00UR als plausibel bzw. nicht auszuschließen eingestuft, ihre voraussichtliche Ausprägung ist aber zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht bestimmt. Betrachtet wird die Interaktion der Geosphäre mit einer Auswahl geogener Prozesse. Sie können im Gebiet 01_00UR schwächer oder stärker ausfallen als im Beispiel dargestellt. Es können außerdem noch weitere Prozesse auftreten, deren Auswirkungen im Endlagersystem berücksichtigt werden müssen. Die Skizze ist nicht maßstäblich.

Die Entwicklung soll für den gesamten Untersuchungsraum abgeleitet werden, dabei wird das Wirken von Prozessen im Untersuchungsraum räumlich differenziert. Die Unterabbildungen b) und c) zeigen die potenziell zu erwartende Entwicklung (ausgehend von Stark 2014), Unterabbildung d) eine abweichende Entwicklung (ausgehend von Schreiber & Jentzsch 2021).

- a) Ausgangszustand zu Beginn des Bewertungszeitraums (Informationen aus der Geosynthese und Stark (2014)). Das Wirtsgestein Opalinuston liegt in einem sedimentären Schichtpaket, das nach Südosten einfällt. Der Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion, der einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich aufnehmen kann, beginnt ab einer Tiefe von 300 m unter Geländeoberkante (darüber rot schraffiert). Über dem Wirtsgestein Opalinuston liegen im Gebiet die oberjurassischen Karbonatabfolgen. Durch das Einfallen des gesamten Schichtpakets und die Abfolge der unterschiedlich erosionsresistenten Gesteine bildet sich westlich des Untersuchungsraums eine topographische Stufe im Gelände, die auf der Westseite steil abfällt.

Im Südosten des Untersuchungsraums bilden die Sedimente des Molassebeckens das obere Deckgebirge, dort ist die Topographie flacher. Am Rand des Molassebeckens liegen Störungen, die teilweise als aktiv eingestuft sind und damit ein Ausschlusskriterium erfüllen. Sie sind von einer Pufferzone umgeben, in der kein einschlusswirksamer Gebirgsbereich ausgewiesen werden kann (rot schraffiert). Im Westen des Untersuchungsraums haben vulkanische Gesteine beim Aufstieg den Opalinuston durchschlagen.

Wasser fließt an der Oberfläche von topographisch höheren in tiefere Bereiche. Dargestellt ist beispielhaft ein Fluss, der von der Höhe abfließt und in einen zweiten Fluss einmündet, der parallel zu Geländestufe fließt. Im Untergrund fließende Wässer haben Karststrukturen in den oberjurassischen Kalksteinen entstehen lassen.

**Methodenbeschreibung zur Durchführung
der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen
gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung**



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 498

Beispiel – Entwicklung eines untersuchungsraumspezifischen Endlagersystems GzME „Opalinuston“ (01_00UR)

- b) Glazial und Übergang ins nächste Interglazial. Gletscher des Alpenlands können den Untersuchungsraum aus Süden/Südosten überfahren. Die Änderung der Auflast kann existierende Störungen reaktivieren. Insbesondere beim Rückzug der Gletscher kann es zur Bildung glazialer Rinnen kommen. In der Vergangenheit sind diese im Molassebecken entstanden (Reinhardt et al. 2017), ihr künftiges Auftreten wäre dort plausibel und ist aktuell Bestandteil eines Forschungsprojekts (BGE 2021e). Verstärkte Grundwasserbewegungen können zur Bildung von neuen Karststrukturen führen. Oberflächengewässer ändern ihren Verlauf, was insbesondere zu Erosion oder lokal zu Sedimentation führen kann. Auch dies ist Teil eines laufenden Forschungsprojekts (BGE 2021f).
- a) Künftige Interglaziale und klimaunabhängige Prozesse auf langen Zeitskalen. Künftige Interglaziale können mit teilweise erhöhten Niederschlägen einhergehen. Der Untersuchungsraum liegt in einem tektonischen Gebiet, das vertikal gehoben wird (Stark 2014). Phasenweise kann es zu verstärkter Erosion kommen, so auch am westlichen Steilrand der Schichtstufe (vgl. Beispiel in Kapitel 5.4.4) und durch Einschnitte von Oberflächengewässern. Durch die Abtragung des Deckgebirges verändert sich die relative Lage des Opalinustons zur Geländeoberkante. Wenn dies Teil der zu erwartenden Entwicklung ist, muss der Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion, der einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich aufnehmen kann, zur Erfüllung der Mindestanforderungen lokal auf einen tieferen Bereich als für den Ausgangszustand beschränkt werden und lateral einen größeren Abstand zur ursprünglichen Lage der Schichtstufe einhalten.
- c) Abweichende Entwicklung, in der Vulkanismus im Westen des Untersuchungsraums auftritt. Nach Schreiber & Jentzsch (2021) kann lokal „mit geringer Wahrscheinlichkeit“ Vulkanismus im Untersuchungsraum in den nächsten einer Million Jahren wieder aufleben. Das Auftreten von Vulkanismus könnte damit statt als „plausibel“ als „nicht auszuschließen“ eingestuft werden. Damit ergibt sich eine abweichende Entwicklung, in der lokal Magma aufsteigt. Die Auswirkungen auf den Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion müssen dann im Rahmen der abweichenden Entwicklung diskutiert werden.

**Methodenbeschreibung zur Durchführung
der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen
gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung**

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 499

Beispiel – Entwicklung eines untersuchungsraumspezifischen Endlagersystems GzME „Opalinuston“ (01_00UR)

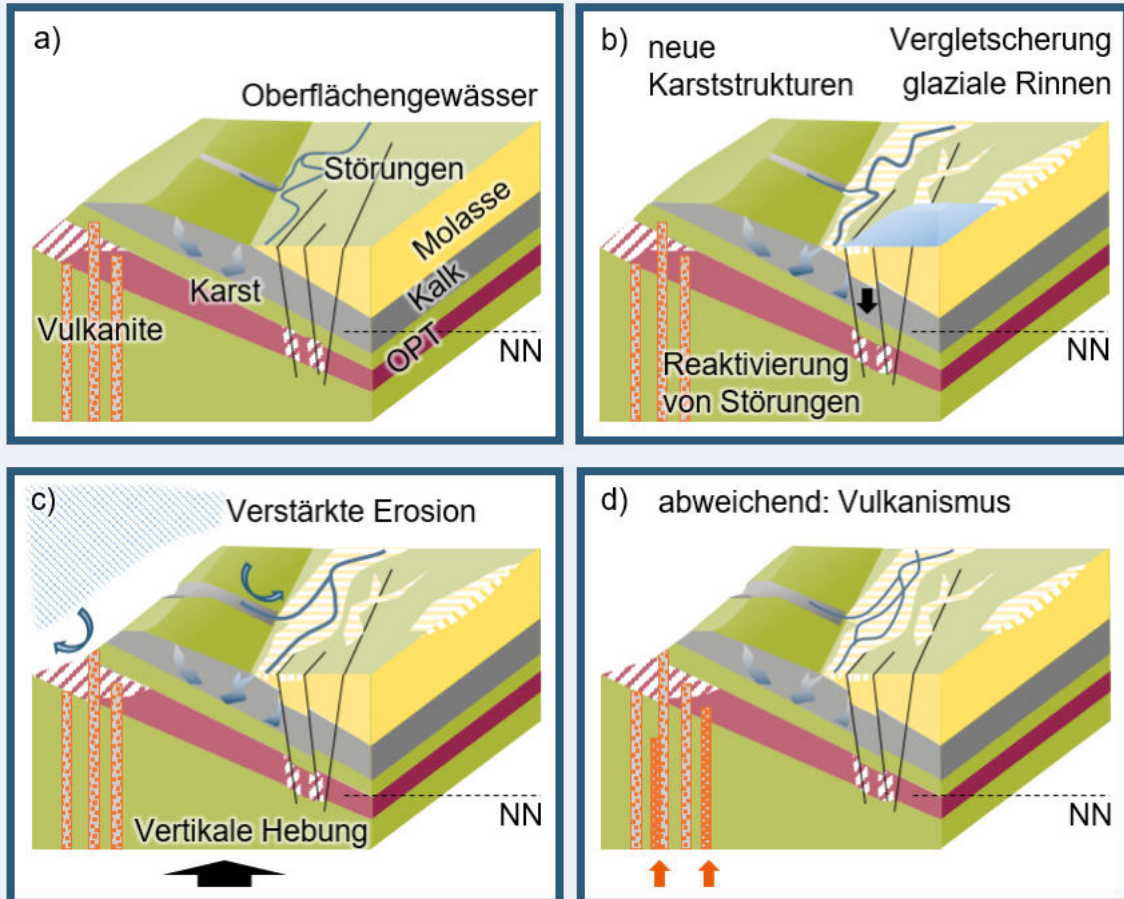


Abbildung 174: Modellvorstellung der räumlichen Differenzierung in der zu erwartenden Entwicklung in b) und c) und einer abweichenden Entwicklung in d) am Beispiel des GzME „Opalinuston“ (01_00UR, schematische Darstellung ohne Maßstab).

Blick von Süden nach Norden (Westen links, Osten rechts). „NN“ zeigt Lage von Normalnull an.

Untersuchungsraumspezifisch abgeleitete Entwicklungen werden im Anschluss auf die Teiluntersuchungsräume (wenn vorhanden) übertragen. Wie bereits an anderer Stelle erwähnt, kann es dabei notwendig werden, innerhalb der Teiluntersuchungsräume Grenzen zu ziehen. Abbildung 175 illustriert die mögliche Diskrepanz zwischen Konfigurationen, die für die Ableitung der Entwicklungen im Untersuchungsraum relevant sind, und dem Schnitt der Teiluntersuchungsräume. Ein Untersuchungsraum kann z. B. anhand von Störungen in Teiluntersuchungsräume eingeteilt sein (Kapitel 5.7), jedoch kann sich beispielsweise die räumliche Konfiguration (Mächtigkeit, Tiefenlage etc.) unabhängig davon verändern. Für die Ableitung der Entwicklung des Untersuchungsraums kann

Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 500

also die Wahl repräsentativer Konfigurationen unabhängig von den Teiluntersuchungsräumen sinnvoll sein, insbesondere, wenn sonst die gleiche Konstellation von Konfiguration und Prozessen mehrfach für mehrere Teiluntersuchungsräume diskutiert werden müsste. Im Beispiel enthalten Teiluntersuchungsräume 1, 2, 3, 4 und 5 Bereiche, in denen Prozess 1 auf Konfiguration 2 trifft, die sich ergebende Entwicklung müsste auf Teiluntersuchungsraum-Basis fünfmal beschrieben werden.

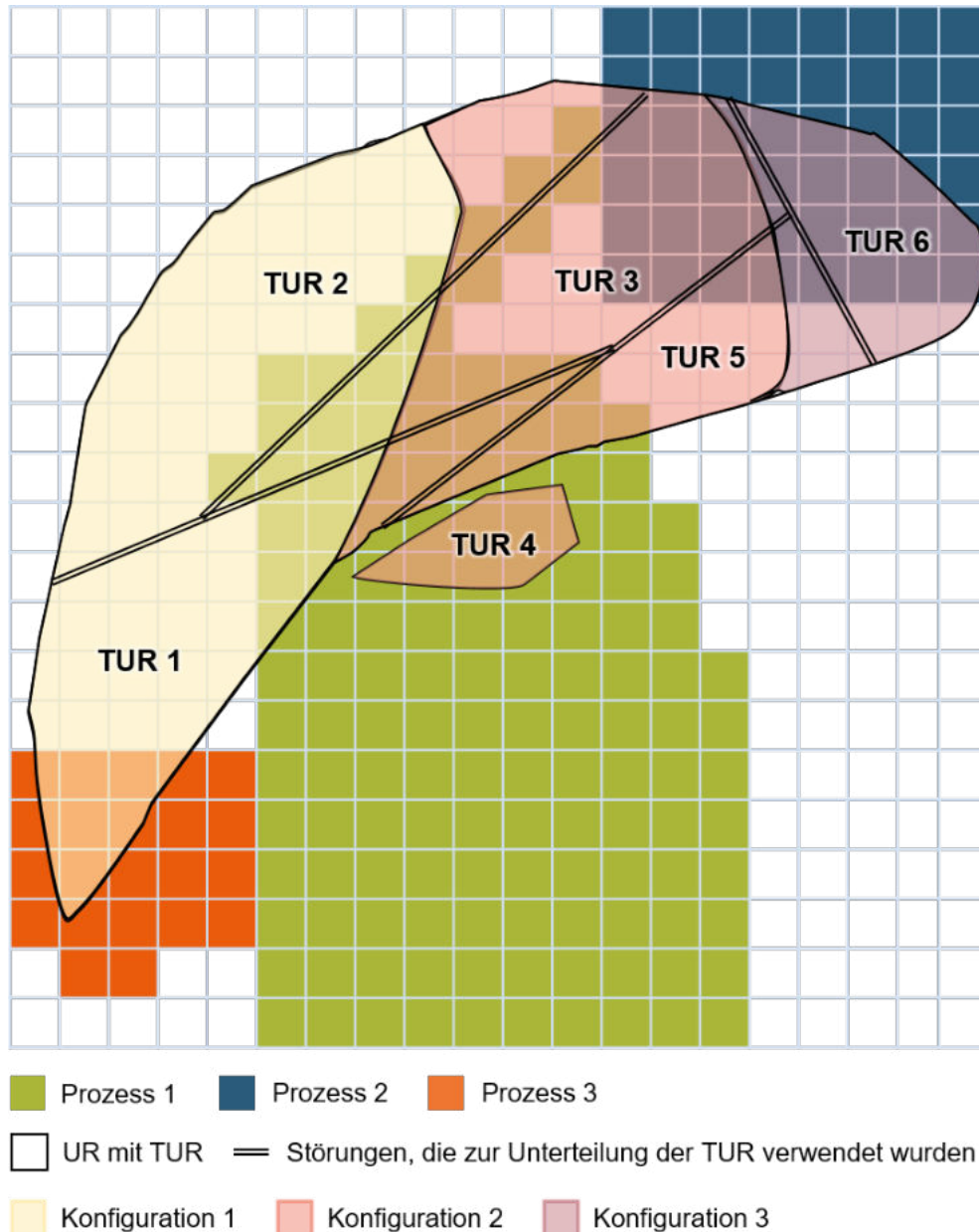



Abbildung 175: Die räumlichen Zusammenhänge, die für die Ableitung der Entwicklungen relevant sind, sind voraussichtlich nicht deckungsgleich mit den Teiluntersuchungsräumen innerhalb eines Untersuchungsraums.
Das Raster dient nur der Visualisierung.

Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung									 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	Blatt: 501
SG	0330				EA	TF	0002	00	

8.2.5 Ergebnisse der Szenarientwicklung

8.2.5.1 Umgang mit Ungewissheiten

Die Ableitung von Szenarien mit dem Ziel, die zukünftige Entwicklung des Endlagersystems abzubilden, ist eng mit Ungewissheiten verknüpft, OECD-NEA (2016, S. 9) beschreibt Szenarien dazu wie folgt:


„Scenarios arise from uncertainties caused, for example, by the randomness or unpredictability of certain events, the natural variability of geological media and the biosphere, incomplete characterisation of features and processes and the couplings between them and the limited possibility to forecast distant-future biospheres and human habits. Taken together, such uncertainties imply a broad range of possible evolutions of a disposal system, or scenarios, over the very long timescales considered in safety assessment.“²³

Eine detaillierte Beschreibung hinsichtlich der Umsetzung zur Betrachtung von Ungewissheiten gemäß § 11 EndlSiUntV findet in Kapitel 10 statt.

8.2.5.2 Formulierung von Rechenfällen

Aus den Entwicklungen können Rechenfälle abgeleitet werden. Das bedeutet, dass die verbale Beschreibung der Entwicklungen in mathematisch/numerisch lösbare Aufgaben übersetzt wird. Die Rechenfälle werden im Anschluss als Grundlage für Berechnungen des möglichen Radionuklidaustrags aus dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich genutzt. Ungewissheiten bei der Parametrisierung der unterschiedlichen Ausprägungen von Komponenten und Prozessen werden über Parametervariationen abgebildet (siehe Kapitel 8.5.4). Dabei stehen die Sicherheitsfunktionen des Endlagersystems im Fokus (Beispiel 87).

²³Deutsch: „Szenarien ergeben sich aus Ungewissheiten, welche z. B. durch die Zufälligkeit oder Unvorhersagbarkeit bestimmter Ereignisse, der natürlichen Variabilität geologischer Medien und der Biosphäre, unvollständige Charakterisierung von Komponenten und Prozessen und deren Abhängigkeiten untereinander oder der beschränkten Möglichkeit in ferner Zukunft liegende Biosphären und menschliches Verhalten vorherzusagen, hervorgerufen werden können. In der Summe implizieren diese Ungewissheiten einen breiten Bereich möglicher Entwicklungen eines Endlagersystems, bzw. Szenarien, über die sehr langen Zeiträume die in einer Sicherheitsuntersuchung betrachtet werden.“

Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung								 BUNDEGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG	
Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 502
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
SG	0330				EA	TF	0002	00	

Beispiel 87: Zusammenhänge zwischen Sicherheitskonzept, FEP-Katalog und Rechenfällen

Beispiel – Zusammenhänge zwischen Sicherheitskonzept, FEP-Katalog und Rechenfällen

Tabelle 72: Beispiel für die Verknüpfung von Hauptsicherheitsfunktionen, Eigenschaften im FEP-Katalog und Parametern in den Rechenfällen

Sicherheitskonzept	FEP-Methodik	Rechenfälle
Hauptsicherheitsfunktion	Sicherheitsfunktion – Eigenschaften	Parameter
Erhalt der Barrierewirkung	Gebirgsdurchlässigkeit	Permeabilität Kluftdurchlässigkeit
...		

Rechenfälle, die aus der wirtsgesteinsspezifischen Szenarienentwicklung abgeleitet werden, dienen dazu, allgemeine Zusammenhänge zu untersuchen und dabei diejenigen Prozesse und Eigenschaften zu identifizieren, die besonders sicherheitsrelevant sind. Auf diese Weise wird eine Wissensbasis aufgebaut, die die Übertragung von auf allgemeiner Ebene festgestellten Zusammenhängen in einzelne Untersuchungsräume ermöglichen soll.

Die zu erwartende Entwicklung des Endlagerbauwerks wird nur in den Entwicklungen der wirtsgesteinsspezifischen Endlagersysteme betrachtet. Auch dabei sind numerische Berechnungen vonnöten. Diese bauen auf der vorläufigen Endlagerauslegung auf. Die im Kapitel 4.2.8 beschriebenen Arbeiten zum Zusammenhang zwischen thermischer Entwicklung und Flächenbedarf haben einen anderen Fokus, können aber als methodisch analog betrachtet werden.

Für die Untersuchungsräume/Teiluntersuchungsräume ist eine abschätzende Berechnung des Radionuklidaustrags vorgesehen (mehr dazu in Kapitel 8.5.3). Die Ungewissheiten, die diesem anhaften, werden im FEP-Katalog mit dokumentiert. Die Fortpflanzung der Ungewissheiten bezüglich einzelner Eigenschaften von Komponenten im Endlagersystem bis zum Radionuklidaustrag lässt sich entlang der Verknüpfungen im FEP-Katalog nachvollziehen (Beispiel 89 und Beispiel 89).

Die konkrete Umsetzung bzw. Abstraktion in Modelle wird als separater Schritt in Kapitel 8.5 beschrieben, sie beinhaltet generell eine Fokussierung auf die wichtigsten Fälle. Um die Anzahl der weitergeführten Fälle handhabbar zu halten, muss also ihre Signifikanz für die Sicherheit betrachtet werden. Dabei können z. B. Prinzipien der statistischen Versuchsplanung angewendet werden.

Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 503

Beispiel 88: Ableitung von Rechenfällen

Beispiel – Ableitung von Rechenfällen aus der zu erwartenden Entwicklung des Endlagersystems in einem Untersuchungsraum

In diesem Beispiel soll ein fiktiver, rechteckiger Untersuchungsraum betrachtet werden (Abbildung 176).

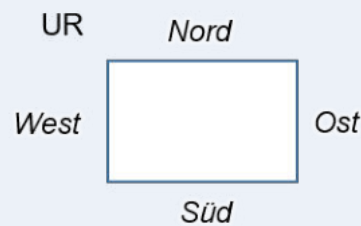


Abbildung 176: Fiktiver Untersuchungsraum

Ausgangszustand des Untersuchungsraums: Die Mächtigkeit des Wirtsgesteinsbereichs mit Barrierefunktion nimmt im Untersuchungsraum graduell von Westen nach Osten ab. Die Änderung der Mächtigkeit kann als sieben diskrete Werte formuliert werden, die für einen Bereich des Untersuchungsraums repräsentativ sind (Abbildung 177).

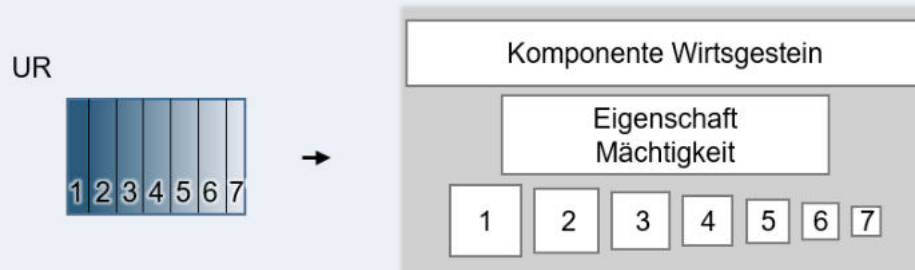


Abbildung 177: Mächtigkeit des Wirtsgesteins im Untersuchungsraum (stärkere Farbe entspricht größerer Mächtigkeit) und repräsentative diskrete Werte (größeres Symbol entspricht größerer Mächtigkeit)

Ausgangszustand: Lithologische Änderungen im Untersuchungsraum führen zu einer graduellen Abnahme der Gebirgsdurchlässigkeit des Wirtsgesteins von Norden nach Süden. Die Änderung der Gebirgsdurchlässigkeit kann als fünf diskrete repräsentative Werte formuliert werden (Abbildung 178)

Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 504

Beispiel – Ableitung von Rechenfällen aus der zu erwartenden Entwicklung des Endlagersystems in einem Untersuchungsraum



Abbildung 178: Gebirgsdurchlässigkeit des Wirtsgesteins im Untersuchungsraum (stärkere Farbe entspricht größerer Gebirgsdurchlässigkeit) und repräsentative diskrete Werte (größeres Symbol entspricht größerer Gebirgsdurchlässigkeit).

Da sich Mächtigkeit und Gebirgsdurchlässigkeit in diesem Beispiel unabhängig voneinander im Untersuchungsraum ändern, können alle Werte frei kombiniert werden. Gibt es keine weiteren Einflüsse hängt der Radionuklidaustrag am Rand des Wirtsgesteinsbereichs mit Barrierefunktion nur von dessen Mächtigkeit und Gebirgsdurchlässigkeit ab. Es ergeben sich 35 Kombinationen und damit 35 mögliche Werte für den Radionuklidaustrag am Rand des Wirtsgesteinsbereichs mit Barrierefunktion (Abbildung 179).

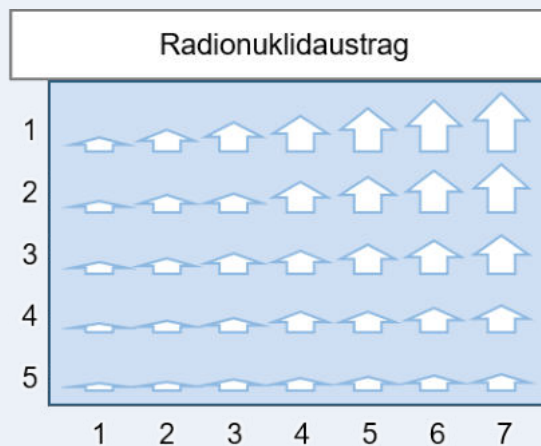


Abbildung 179: Radionuklidaustrag in Abhängigkeit der räumlich variablen Mächtigkeit und Gebirgsdurchlässigkeit (Norden ist oben).

Bei dem so bestimmten Radionuklidaustrag ist die **räumliche** Variabilität der Eigenschaften im Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion im Untersuchungsraum berücksichtigt, aber noch nicht die **zeitliche Entwicklung**.

Im Untersuchungsraum des Beispiels wirkt im Bewertungszeitraum ein Prozess - Erosion. Dafür muss für den Ausgangszustand ergänzt werden, dass die Mächtigkeit des Deckgebirges überall gleich ist.

Die Entwicklung umfasst direkte und indirekte Auswirkungen des Prozesses.

Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 505

Beispiel – Ableitung von Rechenfällen aus der zu erwartenden Entwicklung des Endlagersystems in einem Untersuchungsraum

Direkte Auswirkung: Die Erosion des Deckgebirges führt im Süden des Gebietes zu einer Verringerung der Mächtigkeit des Deckgebirges (Abbildung 180).

Indirekte Auswirkung: Die dadurch erzeugte Entlastung kann zur Öffnung von Entlastungsklüften im Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion führen.

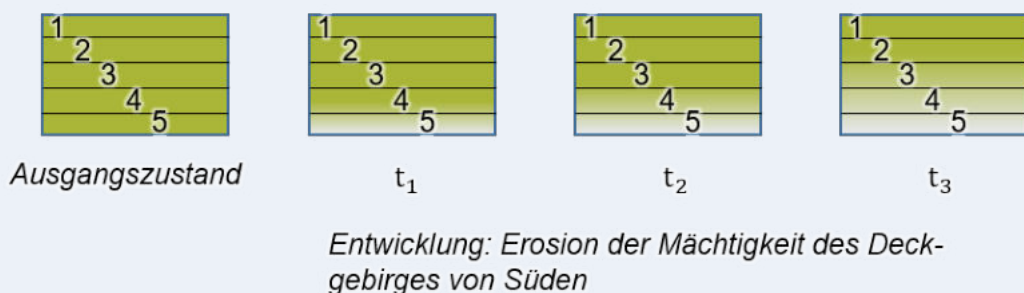


Abbildung 180: Erosion verringert von Süden her die Mächtigkeit des Deckgebirges. Dargestellt sind drei aufeinanderfolgende Zeitschritte (Zeitpunkt t_1 , t_2 , t_3) nach dem Ausgangszustand. Stärkere Farbe entspricht größerer Mächtigkeit.

Um zu prüfen, **ob** es tatsächlich zur Entstehung von Entlastungsklüften kommt, sind Informationen zum Spannungsfeld und zum Deformationsverhalten der Gesteine notwendig, sowie der Betrag der Erosion. Für dieses Beispiel wird eine einfache Annahme getroffen, um nur einen Fall weiter zu betrachten: Wenn die Mächtigkeit des Deckgebirges kleiner wird, wird die Gebirgsdurchlässigkeit des Wirtsgesteins größer.

Die Gebirgsdurchlässigkeit des Wirtsgesteins wird von Süden her nach und nach (gleichmäßig) erhöht, bis beim letzten betrachteten Zeitpunkt (t_3) nur noch ganz im Norden eine etwas höhere Gebirgsdurchlässigkeit vorliegt, im Rest des Untersuchungsraums jedoch der gleiche Wert erreicht wurde (Abbildung 181).

Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 506

Beispiel – Ableitung von Rechenfällen aus der zu erwartenden Entwicklung des Endlagersystems in einem Untersuchungsraum

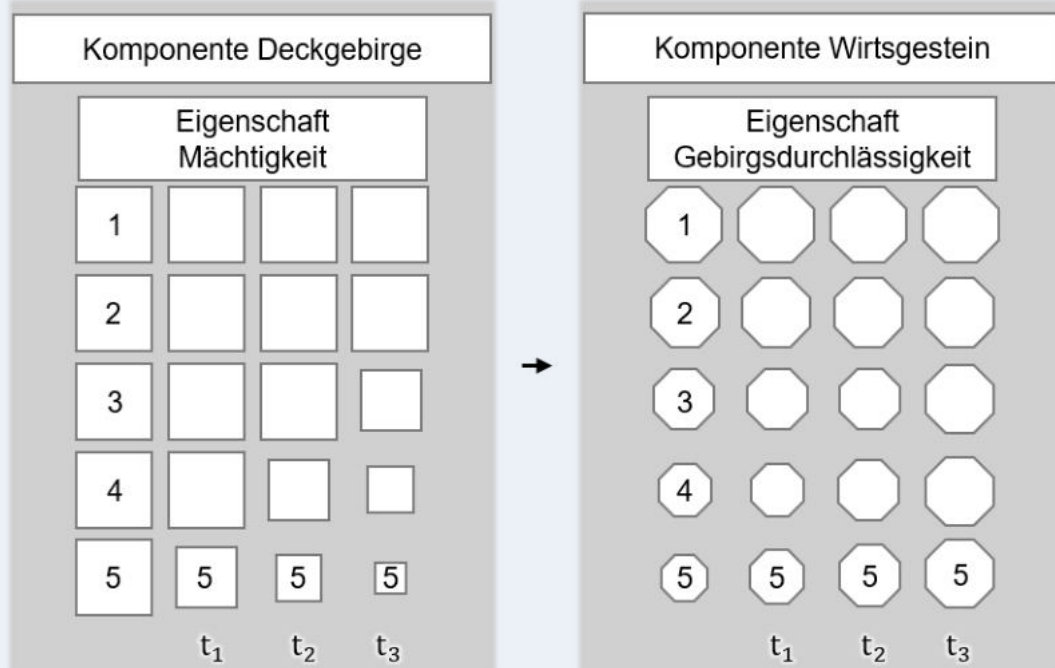


Abbildung 181: Aufgrund der Erosion verringert sich lokal die Mächtigkeit des Deckgebirges, was lokal zu einer Erhöhung der Gebirgsdurchlässigkeit des Wirtsgesteins führt.

Die erste Spalte zeigt jeweils die von Nord (erste Zeile) nach Süd (letzte Zeile) variierende Ausprägung. Die Spalten 2 bis 4 stellen jeweils die zeitliche Änderung für die Zeitpunkte t_1 , t_2 und t_3 dar. Zum letzten Zeitpunkt ist die Gebirgsdurchlässigkeit beinahe im ganzen Untersuchungsraum gleich (Zeile 2 bis 5).

Da der Radionuklidaustrag von der Gebirgsdurchlässigkeit abhängt, kann für jeden Zeitschritt der Austrag räumlich aufgelöst bestimmt werden (Abbildung 182)

Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 507

Beispiel – Ableitung von Rechenfällen aus der zu erwartenden Entwicklung des Endlagersystems in einem Untersuchungsraum

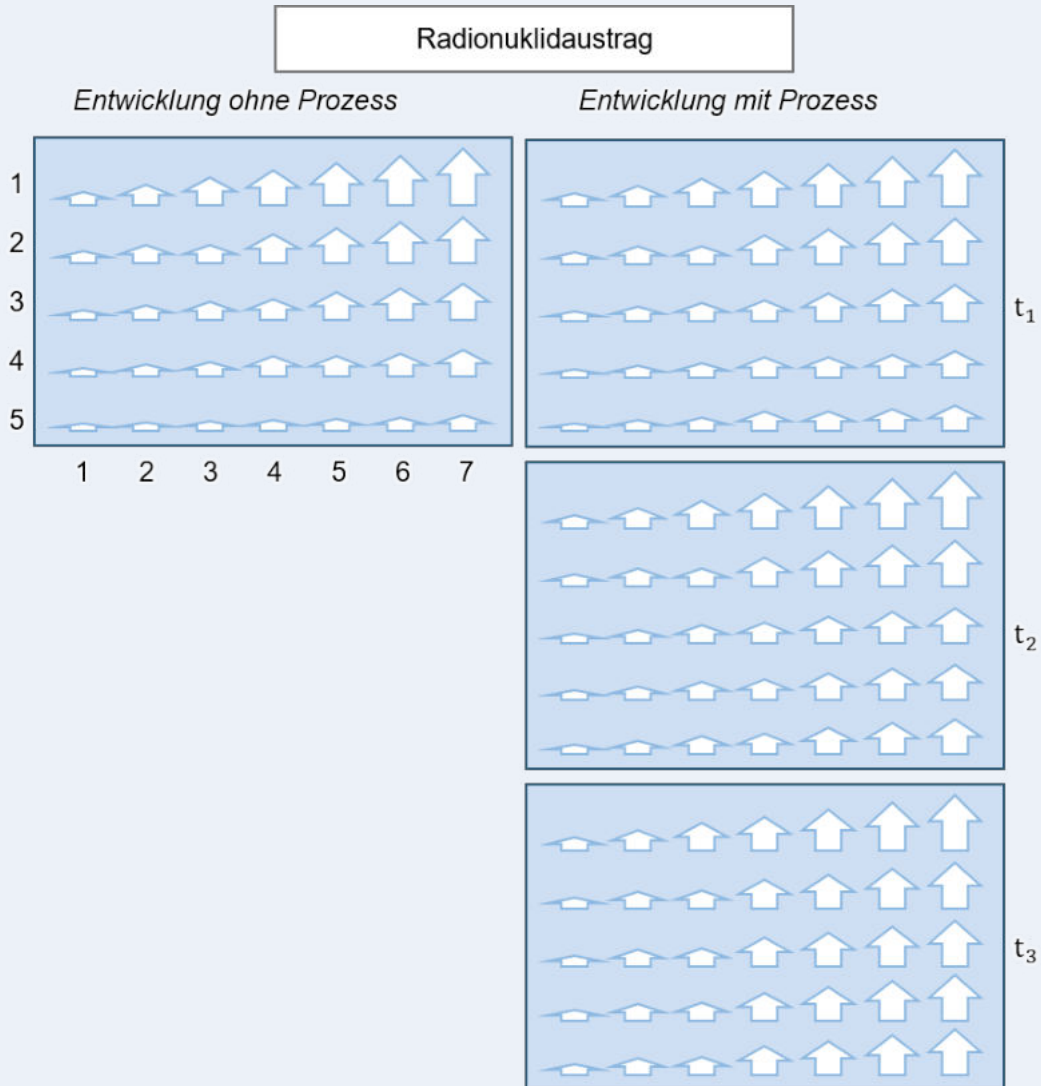


Abbildung 182: Der Radionuklidaustrag ist nicht nur im Raum variabel, sondern zusätzlich über die Zeit

Der Radionuklidaustrag ist insgesamt (integral) im Südwesten des Untersuchungsraums am geringsten, obwohl er sich mit der Zeit deutlich erhöht, da dort besonders günstige Ausgangsbedingungen herrschen (höchste Mächtigkeit und geringste Gebirgsdurchlässigkeit des Wirtsgesteinsbereichs mit Barrierefunktion).

Dies bedeutet, dass im Untersuchungsraum dort besonders große Sicherheitsreserven bestehen.

Ob der Südwesten des Untersuchungsraums damit der bestmögliche Standort im Untersuchungsraum ist muss allerdings unter Berücksichtigung weiterer Rahmenbedingungen abgewogen werden und lässt sich nicht automatisiert ableiten.

**Methodenbeschreibung zur Durchführung
der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen
gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung**



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 508

Beispiel – Ableitung von Rechenfällen aus der zu erwartenden Entwicklung des Endlagersystems in einem Untersuchungsraum

Wie oben bereits erwähnt gibt es weitere denkbare Fälle, die zu Variationen im Radionuklidaustrag führen können. Die Erosion könnte andere Beträge haben, anders räumlich wirken, die Bildung von Entlastungsklüften kann mehr oder weniger stark ausgeprägt sein (oder gar nicht stattfinden), und darüber hinaus können Mächtigkeit und Gebirgsdurchlässigkeit des Wirtsgesteinsbereichs mit Barrierefunktion zusätzlich zur großen räumlichen Variabilität noch mit statistischen Schwankungen belegt sein. Es kann daher hilfreich sein, nicht jeden möglichen Fall rechnerisch zu behandeln, sondern einige abdeckende auszuwählen – ähnlich, wie zu Beginn repräsentative Werte für verschiedene Bereiche des Untersuchungsraums ausgewählt wurden. So kann für einzelne Aspekte einer Entwicklung die Anzahl an Berechnungen auf ein handhabbares Maß reduziert werden, um insgesamt eine größere Bandbreite von Entwicklungen behandeln zu können (Abbildung 183).

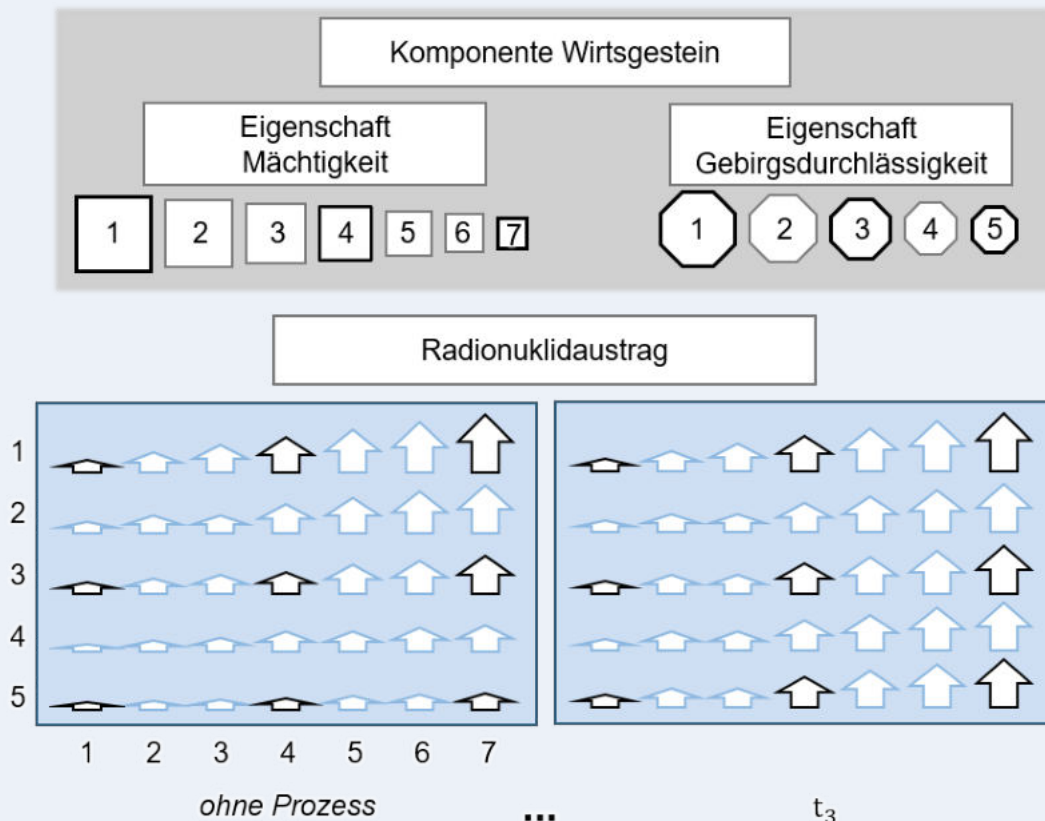


Abbildung 183: Um zu einer abdeckenden Aussage zu gelangen muss es nicht notwendig sein, aus allen Kombinationen von Mächtigkeit und Gebirgsdurchlässigkeit einen Radionuklidaustrag zu berechnen. Stattdessen können beispielsweise jeweils das Minimum, das Maximum und der Mittelwert oder Median betrachtet werden (Symbole schwarz umrandet).

**Methodenbeschreibung zur Durchführung
der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen
gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung**



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 509

Beispiel 89: Fortpflanzung von Ungewissheiten bezüglich einer Eigenschaft

Beispiel – Fortpflanzung von Ungewissheiten bezüglich einer Eigenschaft

Abbildung 184 zeigt eine mögliche Ableitung von mehreren Rechenfällen, die mit Konsequenzen für den Radionuklidaustrag verbunden sind, wie sie beispielsweise in der Entwicklung des wirtsgesteinsspezifischen Endlagersystems im Tongestein denkbar ist. Die Komplexitätsebene des Beispiels wird aktuell in der Beschreibung der Transportrechnungen nicht berücksichtigt (siehe Kapitel 8.5.5). Es soll das Grundprinzip veranschaulichen, wie natürliche Schwankungen oder andere Ungewissheiten bei einzelnen Komponenten sich durch die Wechselwirkungen im System bis zum Indikator für den sicheren Einschluss, nämlich dem Radionuklidaustrag, fortpflanzen können, und dort zu einer Spanne von Ergebnissen führen.

Bei der Beschreibung der zu erwartenden Entwicklung wird zunächst der geothermische Wärmestrom betrachtet. Über die thermischen Eigenschaften der Komponenten (nicht dargestellt) kann die Temperatur des Wirtsgesteins und der Lösungen im Wirtsgestein berechnet werden. Die Temperatur der Komponenten beeinflusst die ablaufenden chemischen Prozesse. Die Eigenschaft „Stoffliche Zusammensetzung“ der Komponente Wirtsgestein (hier im Beispiel Tongestein) ist mit Ungewissheiten behaftet, da der Kalkgehalt schwankt.

Dies wird in zwei geochemische Parametersets für das Wirtsgestein übersetzt. Über den Prozess Lösung/Fällung steht das Wirtsgestein im Gleichgewicht mit den Lösungen im Wirtsgestein.

Die Ungewissheit bezüglich des Kalkgehalts im Wirtsgestein pflanzt sich so fort: Unter der Annahme, dass eine signifikante Veränderung in der stofflichen Zusammensetzung der Lösungen im Wirtsgestein festgestellt wird, müssen auch von hier zwei chemische Parametersets weitergeführt werden.

Als nächstes wird die Lösung der Radionuklide in den Lösungen im Wirtsgestein betrachtet, die abhängig von der stofflichen Zusammensetzung der Lösungen ist. Damit ändert sich der Zustand dieser Komponenten. Über Diffusion werden die Radionuklide transportiert. Die Ungewissheiten bezüglich der stofflichen Zusammensetzung des Wirtsgesteins führen schlussendlich zu zwei Berechnungen des Radionuklidaustrags am Rand des Wirtsgesteins.

Im Beispiel nicht berücksichtigt sind zeitliche Veränderungen. Der Kalkgehalt des Wirtsgesteinsbereichs, der hier betrachtet wird, ist räumlich verschieden, die Änderungen über die Zeit sind demgegenüber aufgrund der geringen Grundwasserbewegungen in Tongesteinen zu vernachlässigen.

**Methodenbeschreibung zur Durchführung
der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen
gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung**

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 510

Beispiel – Fortpflanzung von Ungewissheiten bezüglich einer Eigenschaft

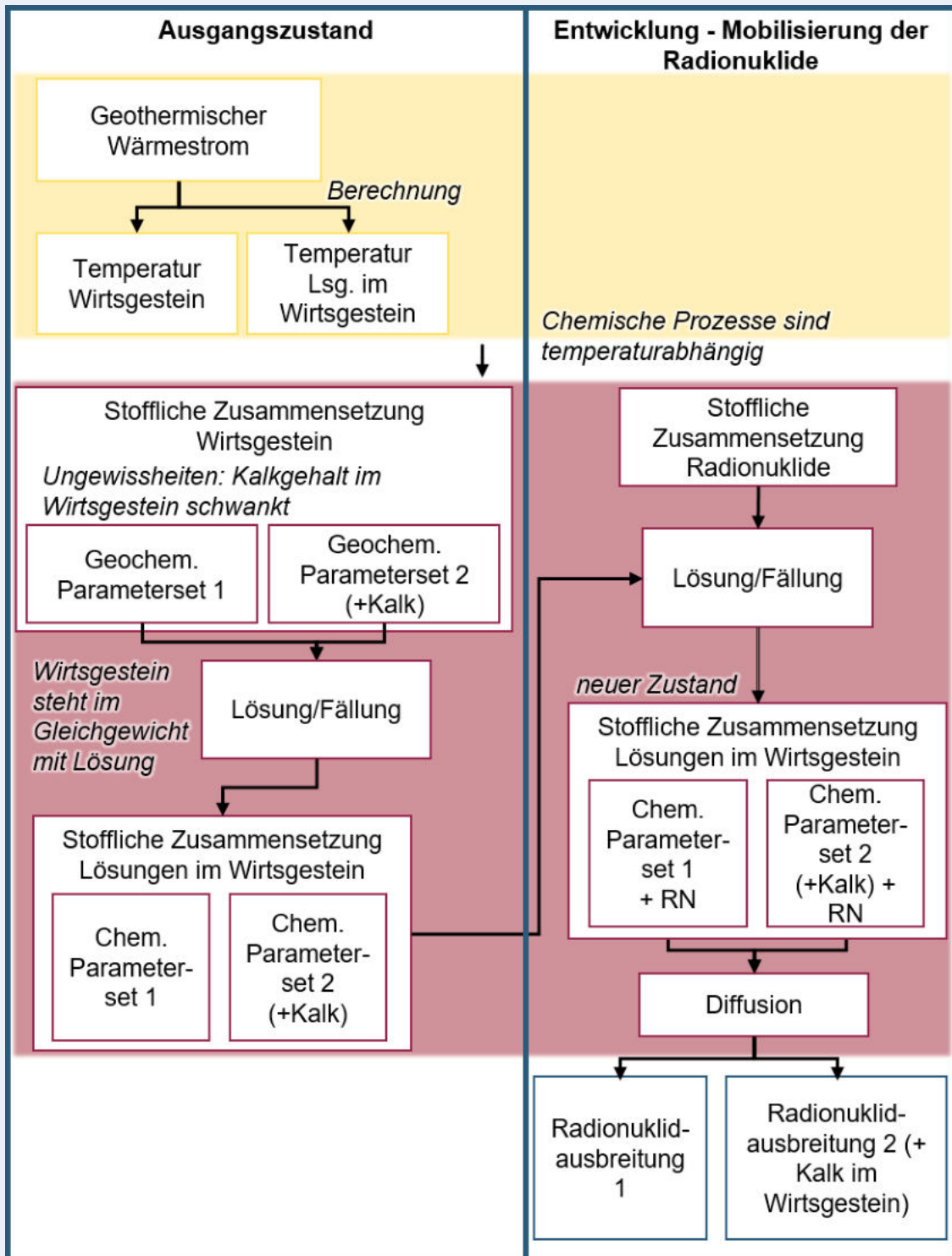



Abbildung 184: Beispielhafte Übersetzung einer Entwicklung in Rechenfälle um die Radionuklid-ausbreitung unter Berücksichtigung von Ungewissheiten zu bestimmen

2020-10-26_PM_QMV02_Textblatt A4 Hochformat_REV02

Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung									 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	Blatt: 511
SG	0330				EA	TF	0002	00	

8.2.5.3 Qualitative Aussagen

Neben der quantitativen Bewertung des sicheren Einschlusses ausgehend von Rechenfällen (Kapitel 8.5), kann es notwendig sein, dass qualitative Aussagen zu Entwicklungen getroffen werden müssen, auf deren Grundlage eine Bewertung der Möglichkeit zur Ausweisung eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durchgeführt wird. Die Notwendigkeit einer qualitativen Aussage ergibt sich daraus, dass es Entwicklungen geben kann, für die zum jetzigen Zeitpunkt keine quantitative Bewertung hinsichtlich des sicheren Einschlusses der Radionuklide getroffen werden kann und deswegen nicht vernachlässigt werden dürfen. Eine mögliche Vorgehensweise wird in Kapitel 8.5.10.2 näher erläutert.

8.3 Der Aspekt b) im Zusammenspiel mit der Ableitung und Bewertung von Entwicklungen

Die Analyse und Bewertung der langfristigen Stabilität der geologischen Verhältnisse, Aspekt b § 7 Abs. 6 Nr. 3 Buchst. b) EndlSiUntV, wird an die beinahe wortgleiche Anlage 4 *Langfristige Stabilität der günstigen Verhältnisse* (zu § 24 Abs. 3) StandAG angelehnt. Ziel ist die zuverlässige zeitliche Prognostizierbarkeit der geologischen Verhältnisse. Dazu gehört die Möglichkeit, dass sicherheitsrelevante Langzeitveränderungen verlässlich identifiziert und eingeschätzt werden können. Als Bewertungsgrundlage dient nach StandAG die Analyse der Vergangenheit. Indikatoren sind insbesondere die Zeitspanne in denen sich die Betrachtungsmerkmale „Mächtigkeit“, flächenhafte bzw. räumliche „Ausdehnung“ und „Gebirgsdurchlässigkeit“ des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs nicht wesentlich verändert haben. Sie sind wie folgt zu bewerten:

1. als günstig, wenn seit mehr als zehn Millionen Jahren keine wesentliche Änderung des betreffenden Merkmals aufgetreten ist,
2. als bedingt günstig, wenn seit mehr als einer Million, aber weniger als zehn Millionen Jahren keine solche Änderung aufgetreten ist, und
3. als ungünstig, wenn innerhalb der letzten eine Million Jahre eine solche Änderung aufgetreten ist.

Da es bei der Bewertung der langfristigen Stabilität der geologischen Verhältnisse allgemein um die Prognostizierbarkeit der geologischen Verhältnisse geht, hängt sie im Rahmen der rvSU eng mit den Analysen und Bewertungen von geogenen Prozessen im Bewertungszeitraum zusammen. Die Bewertung der geogenen Prozesse, ob diese in einem Gebiet in der Vergangenheit stattgefunden haben und ob und wie sicher diese zukünftig prognostiziert werden können, spielen neben deren Einwirkung auf das Endlagersystem hier die entscheidende Rolle. Dies wird in der rvSU beginnend bei der Beschreibung geogener Prozesse in der geowissenschaftlichen Langzeitprognose, bis hin zu den Arbeiten im Rahmen der Analysen des FEP-Katalogs, wo die potenziellen Auswirkungen der geogenen Prozesse auf das Endlagersystem untersucht werden und darauf basierend unterschiedliche Entwicklungen des Endlagersystems beschrieben werden, berücksichtigt. Beide Arbeitsschritte werden hinsichtlich des Ziels bearbeitet negative Änderungen der sicherheitsrelevanten Eigenschaften des Endlagersystems durch geogene Prozesse für den Bewertungszeitraum der kommenden